



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

NÁHRADA STÁVAJÍCÍHO ZDROJE VYTÁPĚNÍ PRŮMYSLOVÉHO OBJEKTU

SUBSTITUTION FOR A CURRENT SOURCE OF HEAT IN THE INDUSTRIAL AREA

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN LISÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Novák

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Náhrada stávajícího zdroje vytápění průmyslového objektu

v anglickém jazyce:

Substitution for a current source of heat in the industrial area

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést stručný popis stávajícího stavu vytápění parou u zadaného průmyslového objektu. Na základě rešerže možností náhrady stávajícího způsobu vytápění navrhnout varianty vytápění pomocí teplovodních kotlů a provést jejich základní porovnání.

Cíle diplomové práce:

Provést rešerži možných zdrojů tepla pro vytápění průmyslového areálu

Popsat stávající stav zásobování tepla v zadaném objektu

Navrhnout varianty náhrady stávajícího systému vytápění

Provést porovnání navržených variant

Seznam odborné literatury:

Kadrnožka, Ochrana. Teplárenství

Ochrana -Kotle a výměníky tepla

Internetové zdroje

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Lisý, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je zpracování návrhu pro rekonstrukci centrální výtopny průmyslového areálu. V rešeršní části je stručně popsán vývoj teplárenství, rozdělení kotlů a podmínky pro výběr vhodného zdroje tepla pro danou lokalitu. Dále jsou v práci uvedeny klasické možnosti zdrojů tepla pro průmyslový komplex, který získané teplo nepoužívá k technologickým účelům, ale pouze k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Praktická část obsahuje popis stávajícího energetického zásobování a návrh dvou variant koncepčního řešení modernizace kotelny. Podle ročního a denního diagramu potřeby tepla jsou stanoveny potřebné výkony, které mají být distribuovány do otopné sítě areálu a také spotřeba paliva. Jedna z variant uvažuje použití akumulární nádrže. V závěru jsou porovnány obě navržené možnosti řešení.

ABSTRACT

The main aim of the thesis is to design a final draft for the reconstruction of the central heating plant of the industrial complex. The background research outlines a brief description of the development of heating plant industry, boilers and conditions for the selection of a suitable heat source for the particular area. Further, there are listed standard possibilities of heat sources for industrial complex, which does not use heat for technological purposes only, but as well as for heating and warming up of supply water. The finding and presentation section summarize the current energy supply and the design of two variants for conceptual modernization of the boiler plant. According to the annual and daily chart for the need for heat, there are specified required heat outputs, which are supposed to be distributed to the campus network of heating and as well as the fuel consumption. One of the options considers the use of storage tanks. The conclusion compares both suggested options.

KLÍČOVÁ SLOVA

Způsoby vytápění, druhy paliva a spalovacích zařízení, rekonstrukce uhelné kotelny

KEYWORDS

Heating Methods, types of fuel and combustion equipment, reconstruction of the coal boiler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, J. Náhrada stávajícího zdroje vytápění průmyslového objektu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 82 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Lisý, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Náhrada stávajícího zdroje vytápění průmyslového objektu vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a používal jsem odbornou literaturu a prameny, uvedené v seznamu.

V Letohradě 25. května 2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné konzultace při vypracování diplomové práce. Dále pak Ing. Michalu Prokopci a dalším zaměstnancům firmy ZEZ Silko, s.r.o. za ochotu při poskytování informací.

OBSAH

1. ÚVOD.....	11
2. TEPLÁRENSTVÍ.....	12
2.1 Historický vývoj zásobování teplem	12
2.2 Současné pojetí teplárenství v sektoru energetiky	13
2.3 Rozdělení soustav centralizovaného zásobování teplem.....	14
2.4 Charakteristika a základní ukazatelé teplárenských soustav.....	15
2.5 Teplárenské kotle	19
2.5.1 Základní popis.....	19
2.5.2 Rozdělení kotlů	19
2.5.3 Parametry kotlů.....	20
2.5.4 Volba typu kotle	20
2.5.5 Volba počtu kotlů	21
3. MOŽNOSTI ZDROJŮ TEPLA PRO PRŮMYSL OVÝ AREÁL.....	21
3.1 Kotle na hnědé uhlí	21
3.2 Kotle na zemní plyn	23
3.3 Kotle na topný olej.....	24
3.4 Kotle na biomasu	26
3.5 Kogenerační jednotky.....	28
4. PROFIL SPOLEČNOSTI ZEZ SILKO, S.R.O.	31
5. POPIS STÁVAJÍCÍHO ENERGETICKÉHO ZÁSOBOVÁNÍ AREÁLU	32
5.1 Středotlaká parní kotelna	34
5.2 Hlavní parní rozvody	35
5.3 Příprava teplé vody	36
5.4 Systém měření a regulace	37
6. STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA A DIAGRAMŮ TRVÁNÍ POTŘEBY TEPLA.....	37
6.1 Předpoklady a požadavky pro návrh	37
6.2 Klimatické podmínky lokality.....	38
6.3 Tepelný výkon na prahu zdroje	39
6.3.1 Potřebný topný výkon pro vytápění	39

6.3.1 Potřebný topný výkon pro ohřev TUV	39
6.4 Stanovení diagramu ročního trvání potřeby tepla.....	41
6.5 Stanovení diagramu denního průběhu potřeby výkonu	44
6.6 Určení potřeby tepla a topného výkonu	46
7. NÁVRH VARIANT KONCEPČNÍHO ŘEŠENÍ	50
7.1 Volba druhu paliva.....	51
7.1.1 Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie.....	51
7.1.2 Hnědé uhlí	51
7.1.3 Zemní plyn.....	51
7.2 Varianta A	52
7.2.1 Volba hlavního hnědouhelného kotle	52
7.2.2 Volba špičkového kotle spalujícího zemní plyn.....	54
7.2.3 Výpočet spotřeby paliva	56
7.3 Varianta B	61
7.3.1 Výpočet výkonu, tepelné kapacity a objemu akumulátoru	62
7.3.2 Volba hlavního hnědouhelného kotle	67
7.3.3 Volba špičkového kotle na zemní plyn	70
7.3.4 Výpočet spotřeby paliva	70
8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	71
8.1 Varianta A	71
8.2 Varianta B	74
9. POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH VARIANT.....	77
10. ZÁVĚR	78
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:	79
Internetové zdroje:.....	79
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:	80
SEZNAM PŘÍLOH:	82

1. ÚVOD

Prakticky veškerá energie, kterou jsme schopni na Zemi zužítkovat pochází ze Slunce, je uložena v rozmanitých formách. Člověk využíval různé druhy energií odedávna aniž si to uvědomoval. V pravěku lidé spotřebovávali hlavně energii vlastního těla získanou chemickou přeměnou z potravy. S rostoucí inteligencí a poznáním si lidé začali osvojovat i jiné formy energií, které jim usnadňovali práci a samotné bytí. Teplo uvolňované při hoření bylo používáno pro tepelnou úpravu pokrmů již před 500 000 lety. Od té doby se lidé učili stále dokonaleji využívat energii ohně pro vytápění, osvětlování a při výrobě různých produktů.

Lidstvo potřebuje pro život poměrně úzké rozmezí teplot okolního prostředí. Tato tolerance se pohybuje v desítkách stupňů Celsia okolo bodu mrazu. Avšak pro zajištění komfortu života a tepelné pohody člověk vyžaduje teplotu ustalující se okolo 20 °C. Za účelem dosažení této teploty zejména v zimních měsících v našem zeměpisném pásmu lidé vyrábí teplo pro vytápění obytných i průmyslových objektů.

V současné době je většina staveb zásobována teplem na bázi spalování paliv. Je také kladen čím dál větší důraz na ekologičnost provozu tepelných zdrojů. Nelze předpokládat v blízkém časovém horizontu v masovém měřítku přechod k alternativním zdrojům vytápění, která nevedou k produkci skleníkových plynů, a proto je nutné zavádět opatření, která budou vést k šetření primárních paliv (většinou fosilních) a tím i snížení produkce skleníkových plynů a škodlivých emisí.

Hlavními technickými aspekty, kterými je nutné se při dodávkách tepla zabývat, jsou:

- pro daný případ zvolit optimální způsob vytápění
- účinnost přeměny energie na tepelnou
- eliminace tepelných ztrát v rozvodech i vytápěných objektech

Těmito opatřeními lze snižovat spotřebu energie a tím také zvýšit ekonomičnost provozu.

Záměrem této diplomové práce je návrh modernizace centrální výtopy průmyslového objektu firmy ZEZ Silko, s.r.o. Na základě rešerše možných zdrojů tepla a určení potřebného topného výkonu pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody navrhnout optimální způsoby generace tepla pomocí teplovodních kotlů a provést jejich porovnání.

2. TEPLÁRENSTVÍ

2.1 Historický vývoj zásobování teplem

Česká republika se řadí k zemím s vysokým stupněm urbanizace a industrializace, tato skutečnost vytváří velké nároky na zajištění dostatečného množství energie. S technickým rozvojem se rozvíjely i různé způsoby zásobování teplem. Od lokálního vytápění v bytech se přecházelo k výrobě tepla v malých kotelnách pro domy, i pro skupiny domů. Současně také vznikali soustavy zabezpečující tepelnou energii pro průmysl, kde byla vyžadována především pára pro výrobní technologie.

Již na konci 19. století se využívala odpadní pára z parních strojů. První velký „boom“ v zakládání centralizovaných soustav pro zásobování teplem nastal v období třicátých a čtyřicátých let 20. století. V této době vznikaly moderní a progresivní soustavy centralizovaného zásobování teplem se zdroji kombinované výroby elektřiny a tepla. Toto období můžeme charakterizovat jako éru parních soustav se zdroji spalujícími tuhá paliva.

Dynamický rozvoj teplárenství pokračoval i po druhé světové válce. Hlavními důvody byly používané stavební konstrukce objektů, sídlištní bytová výstavba a také orientace na energeticky náročný průmysl, hutnictví těžké strojírenství. Výsledkem tohoto období bylo zakládání rozsáhlých soustav zásobování teplem hlavně v průmyslových regionech. Zdroje těchto soustav byly situovány mimo městská centra, tepelné napáječe a rozvody byli horkovodní.

Období 70. a 80. let se dá popsat jako éra sídlištních výtopen s celkovým technickým zaostáváním vlivem zanedbávání intenzifikačních faktorů rozvoje teplárenství (inovace, rekonstrukce, minimalizace provozních nákladů, zlepšování řízení). Zásadním problémem byla nedostupnost moderních prvků pro měření a regulaci ve světě již známých. Čeští projektanti a inženýři o nich věděli, ale v důsledku tehdejší politické situace nebyly dostupné. Výsledkem bylo sice kvantitativně značně rozšířené zásobování teplem, ale s malým podílem výroby elektřiny a převážně nízkou úrovní tepelných sítí.

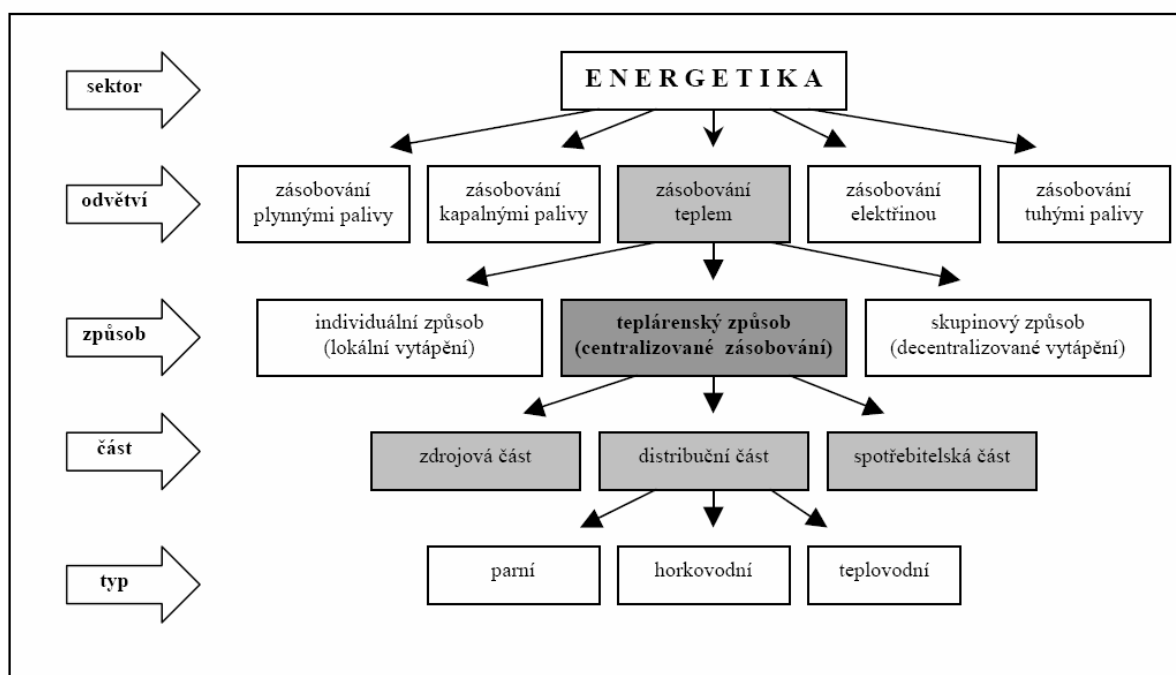
V posledních deseti letech prošlo české teplárenství velmi podstatnými změnami a došlo k významnému zlepšení technické a energetické úrovně. Nyní v podstatě nedochází k zakládání nových soustav zásobování teplem, ale ve stávajících zařízeních jsou intenzifikovány celé procesy od výroby až po konečnou spotřebu tepla. Současnou dobu lze charakterizovat jako éru ekologizace a racionalizace existujících tepelných soustav.

Lze předpokládat, že tímto směrem se bude teplárenství ubírat i v budoucnu. Ve větší míře bude zahrnována kogenerace, akumulace a zdokonalování měření a regulace. Nové systémy se budou provozovat při nižších teplotách a tlacích.

tab. 1 Historický vývoj teplárenství [8]
PS – předávací stanice

OBDOBÍ CHARAKTERISTIKA	30. a 40. léta 20. století	50. a 60. léta 20. století	70. a 80. léta 20. století	přelom tisíciletí	20. a 30. léta 21. století
Charakteristika vývoje teplárenství v ČR	vznik teplárenství	extenzivní rozvoj	technické zaostávání	ekologizace racionalizace	intenzifikace kvalita
Typické zdroje nově budovaných SCZT	teplárny (výtopny)	elektrárny (teplárny)	výtopny (elektrárny)	malé teplárny	všechny typy
Typické druhy používaných paliv	uhlí	uhlí	topné oleje (uhlí)	zemní plyn	všechny druhy (biomasa)
Typicky používaná teplonosná látka	pára	horká voda (pára)	horká voda	teplá voda (horká voda)	teplá voda
Charakteristika zásobované oblasti	průmysl (sídliště)	města (průmysl)	sídliště (průmysl)	sídliště	části měst
Používaný způsob uložení tepelných sítí	nadzemní (kanálové)	kanálové (nadzemní)	kanálové	bezkanálové podzemní	bezkanálové podzemní
Běžné používané typy odběrných zařízení	přímé odběry (objektové PS)	okrskové PS	okrskové PS	objektové PS (přímé odběry)	objektové PS (přímé odb.)

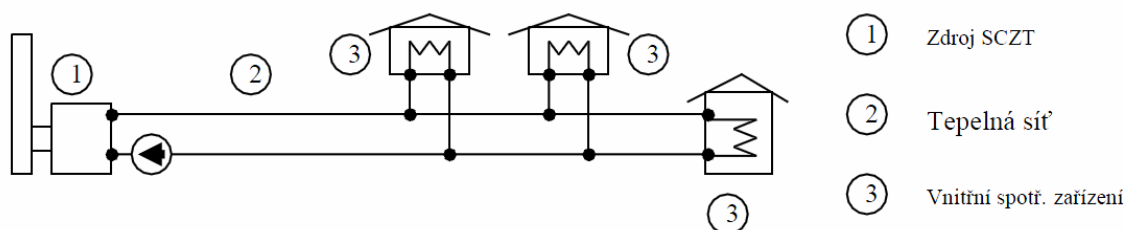
2.2 Současné pojetí teplárenství v sektoru energetiky



obr. 1 Vymezení pojmu teplárenství v energetickém sektoru [8]

Pojem „teplárenství“ byl v dřívější době úzce spjatý s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. V současnosti však výraz „teplárenství“ poněkud zevšeobecněl a chápání jeho významu se posunulo více do obecné roviny. Na teplárenství je v Energetické politice státu názíráno jako ne celé odvětví zásobování teplem. Jako teplárenské jsou dnes označovány i ty výrobní a distribuční společnosti, které se nezabývají výrobou a dodávkami elektrické energie.

Teplárenství chápeme jako ten sektor energetiky, který se zabývá krytím potřeb tepla bytových domů, objektů občanské vybavenosti a průmyslových podniků. Tyto dodávky jsou zajišťovány prostřednictvím soustav centralizovaného zásobování teplem (SCZT).



obr. 2 Principiální technologické schéma uspořádání SCZT [8]

Legenda k obrázku č.2:

- 1) Zdroj SCZT: samostatně umístěná energetická výrobní, jejíž alespoň jeden produkt tvoří teplo dodávané do tepelné sítě
- 2) Tepelná síť: soubor zařízení určených pro dopravu tepla ze zdroje ke spotřebiteli, popřípadě k propojení zdrojů mezi sebou
- 3) Vnitřní spotřebitelská zařízení: zpravidla otopné soustavy a rozvody TUV, jsou určena pro vnitřní rozvody tepla v objektech

2.3 Rozdělení soustav centralizovaného zásobování teplem

Podle skupenství a parametrů teplotonosné látky, kterou obvykle bývá chemicky upravená voda, můžeme rozlišovat SCZT:

- parní
- horkovodní
- teplovodní

Parní soustavy:

Ve zdrojích parní SCZT je vyráběna pára, která je při parametrech max. 1,8 MPa a 240 °C dodávána do parní tepelné sítě, ze které jsou realizovány buď přímé odběry páry pro technologické účely, nebo nepřímé odběry tepla prostřednictvím předávacích stanic. Proudění páry v parovodech umožňuje její tlaková energie, po předání tepla odběratelům je zbylý kondenzát dopravován zpět do zdroje pomocí čerpadel a kondenzátních potrubí, popřípadě vlastním tlakem, nebo samospádem.

Horkovodní soustavy:

Ve zdrojích horkovodní SCZT je teplotonosná látka (voda) ohřívána na požadovanou teplotu (max. 180 °C) a výstupní větví horkovodní tepelné sítě je dopravována k odběratelům – předávacím stanicím. Ochlazená voda z předávacích stanic proudí vratnou větví zpět do zdroje. Cirkulace oběhové vody v tepelné síti je zajištěna oběhovými čerpadly situovanými zpravidla ve zdrojích. Horkovodní tepelné sítě jsou navrhovány na konstrukční tlaky až 2,5 MPa a obvykle jsou označovány jako primární.

Teplovodní soustavy:

V teplovodních SCZT je proces dopravy tepla od zdroje ke spotřebitelům obdobný, jako v horkovodních soustavách, s tím, že parametry teploty látky na výstupu ze zdroje jsou nižší (teploty do 110 °C (115°C), konstrukční tlaky do 1,6 MPa). Pro možnost přímého napojení vnitřních spotřebitelských zařízení na teplovodní síť bývají maximální parametry teploty látky voleny ještě nižší (max. 95 °C a 0,6 MPa). Je-li zdrojem takovéto sítě předávací stanice napájená z primárního okruhu, hovoříme o sekundární tepelné síti. [8]

tab. 2 Přehled základních typů a parametrů teplotních soustav [8]
PS – předávací stanice

TYP SOUSTAVY CZT PARAMETR SOUSTAVY CZT		PARNÍ SCZT	HORKOVODNÍ SCZT	TEPLOVODNÍ SCZT
Druh zdroje :	Typický Běžný	teplárna elektrárna, výtopna	teplárna elektrárna, výtopna	výtopna malá teplárna
Výkon soustavy :	Typický Běžný	70 MWt 20 až 200 MWt	150 MWt 50 až 300 MWt	4 MWt 2 až 8 MWt
Rozsah tepelných sítí :	Typický Běžný	10 km 2 až 40 km	25 km 5 až 80 km	1 km 0,5 až 3 km
Provedení tepel. sítí :	Typické Běžné	dvoutrubkové jednotrubkové	dvoutrubkové třítrubkové	čtyřtrubkové dvoutrubkové
Uložení tepelných sítí :	Typické Běžné	nadzemní podzemní	podzemní nadzemní	podzemní
Teploty v přívodní větvi :	Typické Běžné	220 °C (pára) 180 až 240 °C	130 °C 110 až 160 °C	80 °C 70 až 90 °C
Teploty ve vratné větvi :	Typické Běžné	60 °C (kondenzát) 40 až 70 °C	60 °C 50 až 80 °C	45 °C 40 až 60 °C
Konstrukční tlaky v síti :	Typické Běžné	1,2 MPa (pára) 0,8 až 2,4 MPa	1,6 MPa 1,6 až 2,5 MPa	0,6 MPa 0,4 až 0,6 MPa
Druh odběratelů :	Typický Běžný	průmysl byty, vybavenost	byty, vybavenost průmysl	byty vybavenost
Druhy odběr. zařízení :	Typický Běžný	přímé odběry objektové PS	okrskové PS objektové PS	přímé odběry objektové PS

2.4 Charakteristika a základní ukazatelé teplotních soustav

Soustavy centralizovaného zásobování teplem jsou charakteristické svými parametry:

- energetickými: spotřeba, výroba a dodávky energie
- technickými: typy a parametry instalovaných zařízení
- ekologickými: produkce odpadů a emisí znečišťujících látek
- ekonomickými: náklady a tržby, návratnost investice

Teple získané ze zdrojů je v teplotních soustavách spotřebováváno pro potřeby odběratelů (vytápění, ohřev TUV) a na krytí ztrát v rozvodech a výměňkových stanicích. Ztráty vznikající v rozvodech způsobují prostup tepla a únik teplotního média. Ztráta prostupem tepla je odvislá od vnitřní teploty teplotního média, tloušťce a kvality tepelné izolace a na teplotě a charakteru okolního prostředí. Ztráty únikem teplotního média závisí na těsnosti kompenzátorů, armatur, na těsnosti ucpávek čerpadel a dále například na těsnosti teplosměnných ploch v předávacích stanicích. U parních soustav pak také na způsobu nakládání s kondenzátem.

Teplo dodávané pomocí systémů zásobování má tři hlavní odběratelé, jsou jimi:

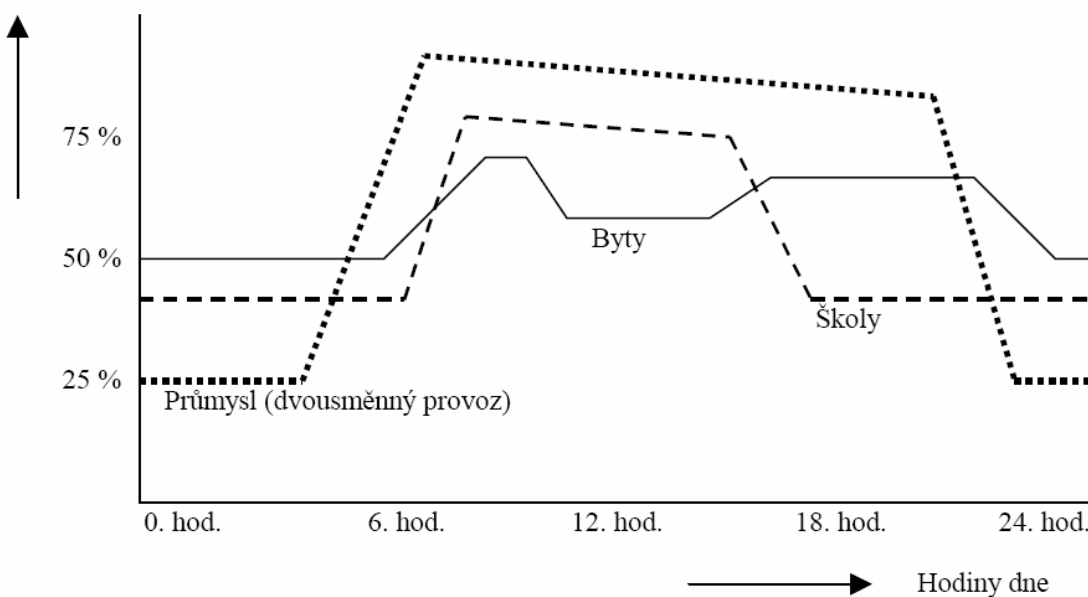
- bytové domy: sídlištní zástavba, činžovní a rodinné byty
- občanská vybavenost: školy, úřady, nemocnice, obchody, sportoviště
- průmyslové podniky: výrobní a montážní haly, administrativní budovy, sklady

V průmyslových podnicích může být teplo využíváno kromě vytápění a přípravy TUV (v ČR jen výjimečně pro větrání a klimatizaci) také pro technologické účely (většinou parní systémy).

Spotřebu tepla pro vytápění ovlivňují zejména :

- venkovní teplota
- tepelně technické vlastnosti obvodových plášťů budov
- topný režim pro daný objekt

Tepelný výkon

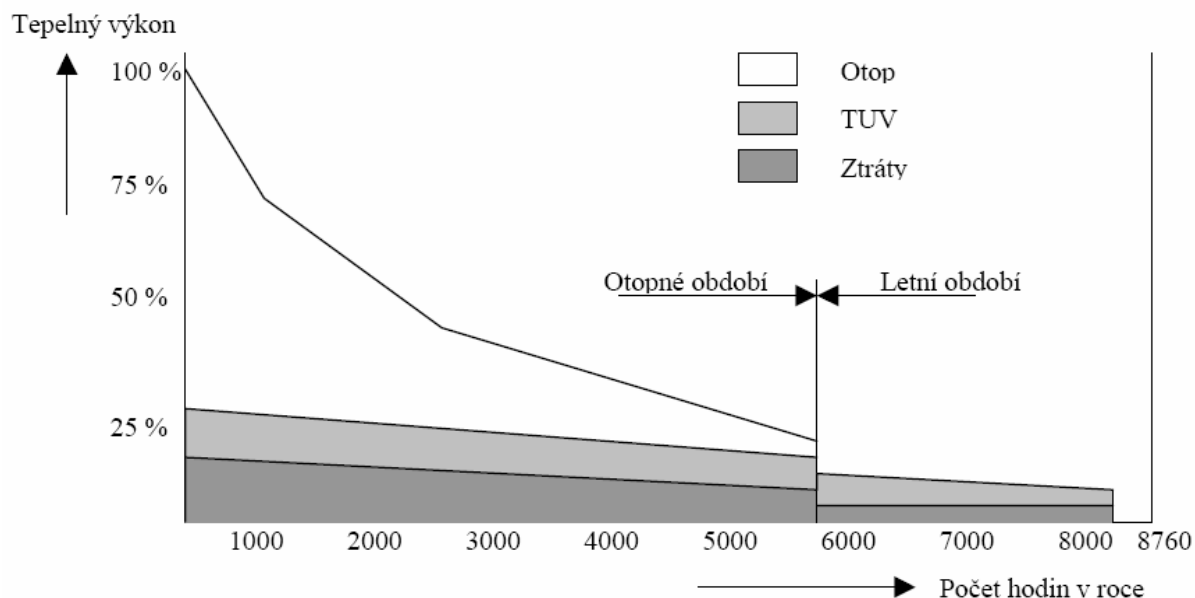


obr. 3 Typické průběhy denních potřeb tepla pro otop u různých typů odběratelů [8]

Úhrnné roční průběhy potřeb tepla je možné znázornit ve dvou formách:

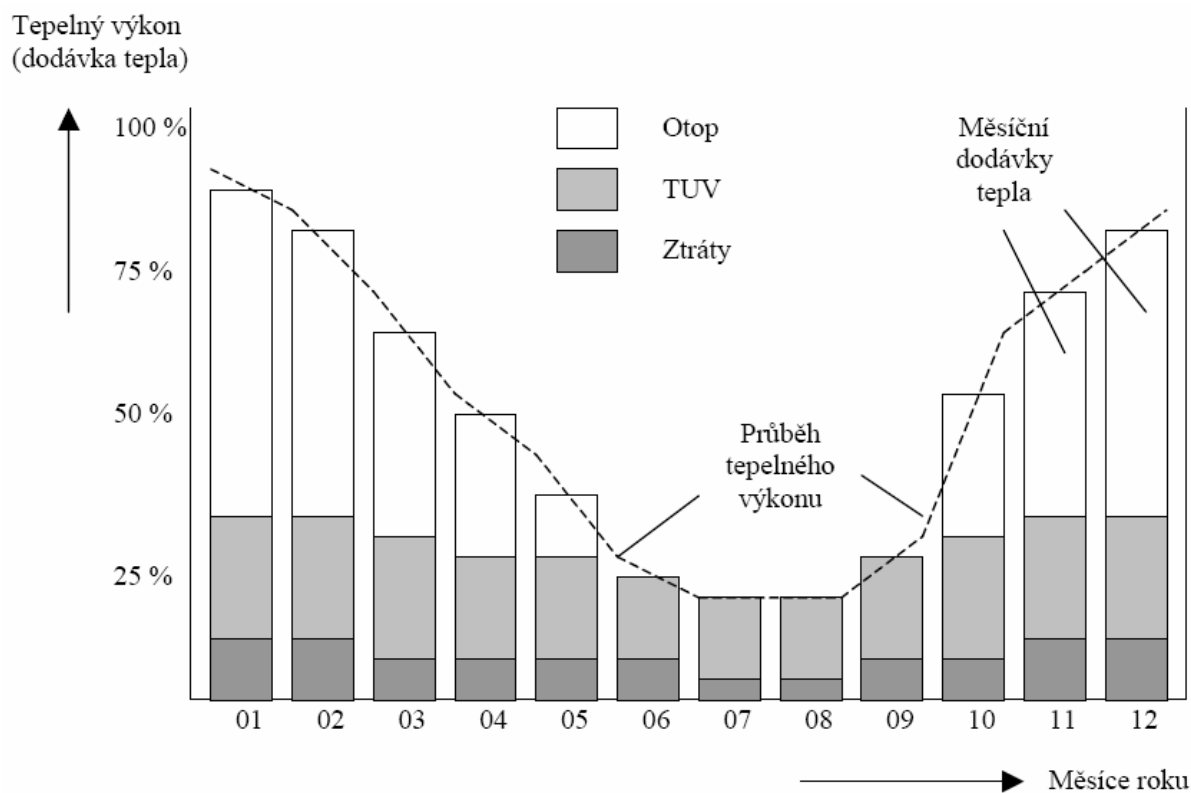
- diagram doby trvání tepelného výkonu
- týdenní či měsíční diagram průměrných potřeb tepla

Diagramy doby trvání tepelného výkonu znázorňují postupné seřazení hodnot okamžitých (hodinových) výkonových zatížení soustavy v průběhu celého roku. Tento diagram trvání zatížení udává po jakou dobu bylo zatížení dané nebo větší.



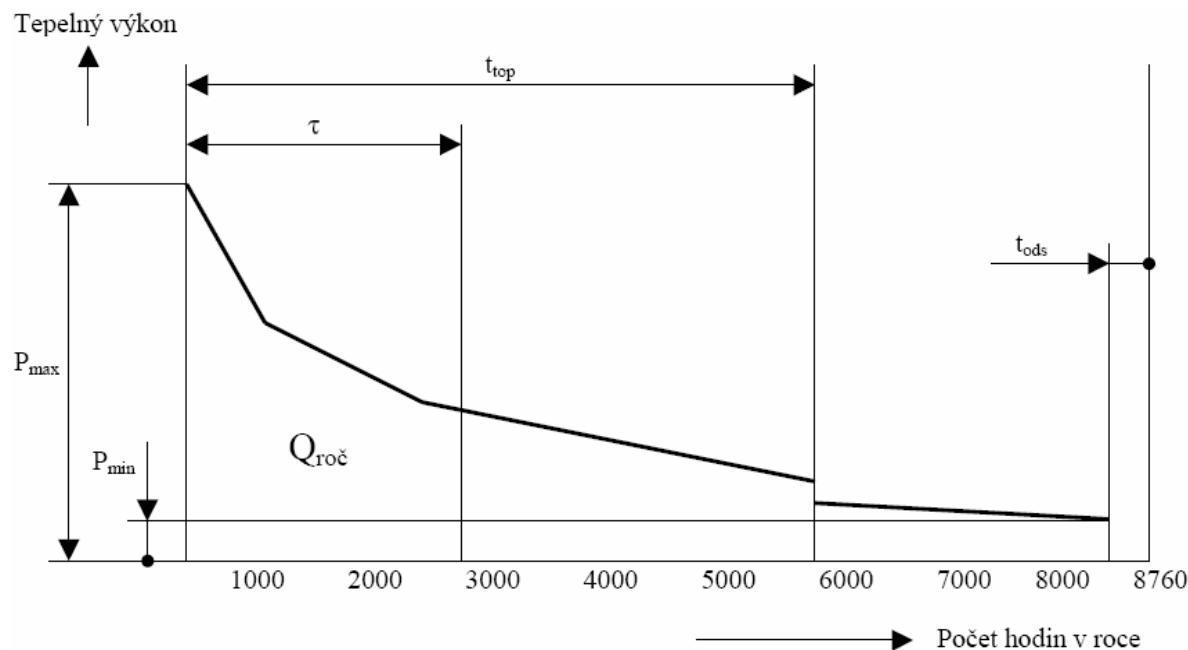
obr. 4 Diagram doby trvání tepelného výkonu [8]

Týdenní nebo měsíční diagramy průměrných potřeb tepla jsou časově sousledně vynesené změřené odečty výrob nebo dodávek tepla, které nám udávají zpětný obraz o souladu plánu a skutečnosti.



obr. 5 Měsíční diagram potřeb tepla [8]

Na diagramu doby trvání potřeb tepla si můžeme ukázat některé základní ukazatele teplotních soustav.



obr. 5 Základní ukazatele teplotních soustav [8]

Legenda k obrázku č.5:

$Q_{ro\check{c}}$ - roční celková dodávka tepla do SCZT (tvoří ji dodávka tepla pro otop, pro přípravu TUV, pro krytí ztrát v rozvodech a případně i dodávka tepla pro technologické účely nebo pro chlazení a klimatizaci)

P_{max} – maximální výkonové zatížení teplotní soustavy (zpravidla nastává při nejchladnějších pracovních dnech v roce, v době ranních odběrových špiček)

P_{min} – minimální výkonové zatížení teplotní soustavy (nastává v letním období, zpravidla ve volných dnech a v době dovolených, v nočních hodinách a často se rovná pouze momentálnímu příkonu ztrát tepla v rozvodech)

τ - doba využití maximálního tepelného výkonu (udává dobu, za kterou by byla realizována celková roční dodávka tepla $Q_{ro\check{c}}$ při maximálním zatížení teplotní soustavy P_{max})

t_{top} – doba trvání topné sezóny (tj. doba, po kterou je v zásobovaných objektech teplo využíváno pro otop)

t_{ods} – doba odstávky v letním období (tj. doba, po kterou jsou dodávky tepla přerušeny z důvodu plánovaných oprav, nebo revizí zařízení) [8]

2.5 Teplárenské kotle

2.5.1 Základní popis

Kotel je zařízení sloužící k výrobě páry z vody (parní kotel), ohřevu vody (horkovodní nebo teplovodní kotel) respektive k ohřevu jiného média (například v ORC cyklech).

Teplo je získáváno obvykle spalováním paliva. Palivo je hmota, ze které se chemickou reakcí uvolňuje teplo. Ve zvláštních případech se k ohřevu pracovní látky využívá tepla jiného média, odpadního tepla (utilizační kotel) nebo elektrické energie (elektrokotle).

Teplosměnné plochy kotle přejímají teplo ze spalin sáláním (radiací) a prouděním (konvekci), teplo dále prochází tloušťkou plochy vedením (kondukcí) a na druhé straně je předáno pracovní látce (voda, pára) prouděním.

V kotli dochází k přeměně chemické energie na tepelnou energii spalin a k následnému přenosu tepla spalin do pracovního média. Výstupem je pára (sytá nebo přehřátá), horká voda (nad 115 °C) nebo teplá voda (do 115 °C) požadovaného tlaku.

Kotle jsou tvořeny spalovacím zařízením s příslušenstvím a tlakovými výměníky.

Spalovací zařízení s příslušenstvím obvykle tvoří:

- ohniště, hořáky
- zařízení pro přípravu paliva
- zařízení k odstraňování zbytků po spálení
- zařízení pro ohřev vzduchu
- zařízení k dopravě vzduchu a spalin

Parní kotel může mít až čtyři tlakové výměníky tepla:

- ohřívák vody (ekonomizér)
- výparný systém
- přehřívák páry
- přihřívák páry (pouze u kotlů napojených na turbínu, slouží k přihřátí páry po částečné expanzi v turbíně)

Horkovodní a tlakovodní kotle mají jediný tlakový výměník – ohřívák vody.

2.5.2 Rozdělení kotlů

Podle užití v energetické centrále se kotle dělí na:

- elektrárenské
- teplárenské
- vytopenské

Vyjma uvedených základních typů centrál se v praxi ještě používají spalovenské kotle a kotle na odpadní teplo.

Podle použitého paliva rozdělujeme kotle:

- na tuhá paliva
- na kapalná paliva
- na plynná paliva
- na směsi paliv

Podle spalování tuhých paliv:

- kotle roštové
- kotle fluidní
- kotle práškové (granulační, výtavné)

Spaliny vzniklé spálením paliva v ohništi odcházejí spalinovými tahy. Podle počtu tahů rozeznáváme kotle:

- jednotahové
- dvoutahové
- třítahové
- vícetahové

Podle proudění vody rozlišujeme kotle s relativně velkým a malým obsahem vody. Moderní kotle s relativně velkým obsahem se dělí na:

- plamencové
- žárotrubnaté
- kombinované plamenco žárotrubnaté

Jejich znakem je podélné proudění spalin uvnitř plamenců a trubek. Ohřívaná voda proudí vně trubek bez cirkulačního okruhu.

Moderní kotle s relativně malým obsahem vody se dělí na:

- kotle s přirozeným oběhem vody
- kotle s nuceným oběhem vody
- průtočné kotle s podkritickými nebo nadkritickými tlaky páry (nad 22 MPa)

Všechny tyto kotle jsou vodotrubnaté (voda proudí uvnitř trubek).

2.5.3 Parametry kotlů

Parní kotel je charakterizován těmito údaji:

- a) jmenovitý hmotnostní tok vyrobené páry na výstupu z kotle, kterého musí kotel dosáhnout při jmenovitých parametrech (tlak a teplota páry a napájecí vody)
- b) jmenovitý tlak
- c) jmenovitá teplota páry (přehřáté i přihřáté)
- d) jmenovitá teplota napájecí vody
- e) druh a vlastnosti paliva

Horkovodní a tlakovodní kotle jsou charakteristické těmito údaji:

- a) jmenovitý hmotnostní průtok vody
- b) vstupní i výstupní teplota vody
- c) druh a vlastnosti paliva

2.5.4 Volba typu kotle

Typy kotlů se stanovují zpravidla podle těchto tří hlavních faktorů: výkon teplárny, palivová základna a ekologické požadavky. Kotle musí splňovat ještě další dva základní provozní předpoklady: musí být schopné regulace výkonu v širším rozsahu a udržovat stabilní provoz při minimálním výkonu. Povaha dodávky tepla pro vytápění, při které kotle pracují během dne i roku při velkých změnách tepelného zatížení, vyžaduje schopnost kotlů tyto změny pružně sledovat při přijatelné účinnosti. Velikost minimálního výkonu je závislá na druhu paliva, typu a konstrukci kotle.

2.5.5 Volba počtu kotlů

Značný význam při volbě počtu kotlů má charakter spotřeby tepla. Z provozních hledisek, pro snazší obsluhu a údržbu a nižší počet zaměstnanců je výhodné, aby počet kotlů byl co nejnižší. Nejmenší počet kotlů požadujeme i z ekonomického hlediska, protože u větších jednotek jsou nižší měrné investiční náklady a také jejich účinnost je vyšší. Naproti tomu musíme uvažovat, že tepelný zdroj musí mít instalované jednotky, kterými je možné udržovat spolehlivě minimální letní provoz a také jednotky, které pokryjí tepelný výkon krátkodobého špičkového zimního období při nejnižších teplotách ovzduší. Dále bývá požadováno, aby při výpadku největší kotelní jednotky byly ostatní kotle ve zdroji schopny pokrýt při jmenovitém výkonu potřebu tepla pro technologické účely, vytápění a ohřev TUV. Toto má být navrženo pro průměrnou denní teplotu ovzduší v nejstudenějším měsíci.

3. MOŽNOSTI ZDROJŮ TEPLA PRO PRŮMYSL OVÝ AREÁL

Obecně se dá říci, že volba zdroje tepla je závislá na potřebném výkonu zdroje a především na druhu paliva, dostupného v dostatečném množství. V této kapitole jsou popsány obvyklé zdroje tepla středních výkonů pohybujících se v rozmezí od desítek kW až do cca 2 MW. Jsou zde uvedeny příklady teplovodních zdrojů pro areály využívající centrálního zásobování teplem. Získané teplo je využíváno především k vytápění a ohřevu TUV, ale ne pro technologické či výrobní účely. Údaje použité v tabulkách jsou převzaté z nabídkových listů výrobců a pouze orientační. V tabulkách jsou stručně shrnuty výkonnostní rozsahy poskytovaných výrobků.

3.1 Kotle na hnědé uhlí

Hnědé uhlí je nejrozšířenějším tuhým palivem pro spalování v malých a středních zdrojích tepla. Jeho charakteristickými znaky jsou: zrnění, výhřevnost, obsah popeloviny, obsah vody a obsah síry. Dominantními dodavateli hnědého uhlí v České republice jsou Severočeské doly, a.s. Chomutov a Mostecká uhelná společnost, a.s. Most.

Hlavními výhodami při spalování hnědého uhlí jsou:

- nízká cena paliva
- dostupnost paliva v jakékoli lokalitě a potřebném množství

Mezi nevýhody patří:

- kromě produkce CO₂ také tuhé emise, emise NO_x, CO, SO₂
- nakládání s tuhými zbytky vzniklých při spalování
- požadavek na skladovací prostory

Mezi moderní uhelné teplovodní kotle dodávané v širokém výkonovém rozsahu (cca do 1 MW) patří:

- EKOEFECT, EKOEFECT-BIO, výrobce Ekoefekt
- CARBOROBOT, výrobce Carborobot
- VARIMATIC, výrobce Varimatic
- BENEKOV, výrobce Benekov

Výrobou hnědouhelných kotlů o výkonech vyšších než 1 MW se zabývají například tyto výrobci:

- Alstom, Foster , Babcock
- Nox Kontrol,
- Kovosta-Fluid
- Kotle-Mont

Většina kotlů je určena především pro spalování tříděného hnědého uhlí o zrnitosti 5-25 mm, tzn. převážně typ ořech II, s výhřevností 17-20 MJ/kg. Některé kotle jsou schopné spalovat směs uhlí a biomasy. Regulace výkonu kotlů je možná v širokém rozsahu cca 30 – 100 %. Vlivem řízeného spalování, vyššího vychlazení spalin se dosahuje vysokých účinností i přes 80 %. V důsledku toho dochází ke snížení spotřeby paliva a také ke snížení produkce emisí.

tab. 3 Vybrané typy teplovodních uhelných kotlů různých výrobců s uvedením základních parametrů

výrobce	typ	jmenovitý výkon [kW]	účinnost [%]	doporučené palivo, výhřevnost [MJ/kg]
Ekoefekt, a.s.	EKOFEKT BIO 130	138	80	hnědé uhlí ořech 2 + dřevěná štěpka
	EKOFEKT BIO 190	198	80	hnědé uhlí ořech 2 + dřevěná štěpka
	EKOFEKT BIO 600	600	80	hnědé uhlí ořech 2 + dřevěná štěpka
Carborobot, Co LTD	Carborobot PV 140	130	80	hnědé uhlí – ořech 2 (zrnitost 5–25 mm)
	Carborobot PV 180	170	80	hnědé uhlí – ořech 2 (zrnitost 5–25 mm)
	Carborobot PV 300	290	80	hnědé uhlí – ořech 2 (zrnitost 5–25 mm)
Varimatic, s.r.o.	VM 100/101	95	neuvedeno	ořech 2 ... o2 (zrnitost 10 - 20 mm)
	VM200	170	neuvedeno	ořech 2 ... o2 (zrnitost 10 - 20 mm)
	VM300	255	neuvedeno	ořech 2 ... o2 (zrnitost 10 - 20 mm)
	VM500	430	neuvedeno	ořech 2 ... o2 (zrnitost 10 - 20 mm)
Benekov, s.r.o.	BENEKOV C 50	48	88,2	hnědé uhlí – ořech 2 (zrnitost 10–25 mm)
Nox Control, s.r.o	V 1000 U	1000	82	hnědé uhlí - ořech 2, výhřevnost 17,6 MJ/kg
	V 1400 U	1400	82	hnědé uhlí - ořech 2, výhřevnost 17,6 MJ/kg
	V 1700 U	1700	82	hnědé uhlí - ořech 2, výhřevnost 17,6 MJ/kg
	V 4000 U	4000	80	hnědé uhlí - ořech 2, výhřevnost 17,6 MJ/kg



obr. 6 Hnědouhelné kotle, zleva: Varimatic VM 500 [11]
Ekoefekt Bio 600 [12]
Carborobot PV 300 [12]

3.2 Kotle na zemní plyn

Zemní plyn je dominantní surovinou v současném plynárenství a zaujímá významný podíl ve spotřebě primárních paliv. Charakteristickými znaky jsou výhřevnost a objemové složení.

Výhody spalování zemního plynu:

- výborná regulovatelnost
- nízká měrná emise znečišťujících látek NO_x , CO , SO_2 i pevných částic
- nejnižší měrná emise skleníkového plynu CO_2 ze všech fosilních paliv

Nevýhody:

- nutná plynová přípojka a rozvod plynu
- vyšší cena oproti pevným palivům
- v některých lokalitách nedostupný

Plynové kotle středních výkonů pro vytápění a teplárny nabízejí například tyto výrobci:

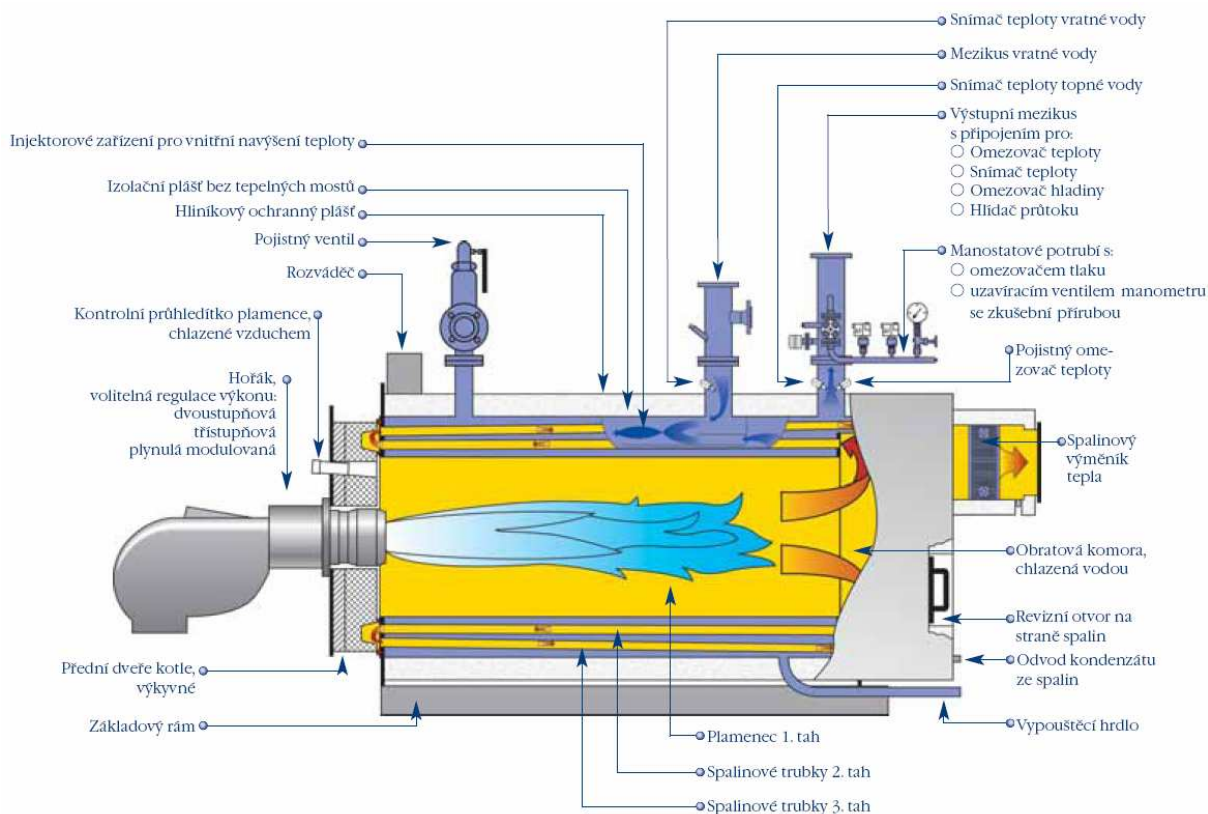
- Buderus
- Ferroli
- Hoval
- Loos
- Viadrus
- Viessmann



obr. 7 Teplovodní plynový plamencový kotel
Buderus Logano S825L [13]

tab. 4 Vybrané typy teplovodních plynových kotlů různých výrobců s uvedením základních parametrů (neuvedené hodnoty výrobce neuvádí)

výrobce	typ kotle	výkonový rozsah [kW]	účinnost [%]
Buderus	LOGANO S825L	750-19200	-
	LOGANO GE434	150-375	94
Ferrolli	PEGASUS	9-289	92
	GN	15-650	93
	PREXTHERM	97-3600	-
Hoval	THW-I NT E	1500-4000	93
Loos	UNIMAT UT-L	750-19200	-
Viadrus	G 300	103-310	90,5
	G700	330-750	91,5
Viesmann	VITOPLEX 300	90-2000	95
	VITOCROSSAL 300 (kondenzační)	787-978	107
	VITOMAX 100-LW	650-2000	95



obr. 8 Teplovodní plynový kotel třítahový Loos Unimat s vybavením [14]

3.3 Kotle na topný olej

Nízkosirný olej je směs kapalných uhlovodíků, získána destilací případně rafinací z ropy. Olej může obsahovat přísady pro snížení bodu tuhnutí nebo pro zlepšení jiných vlastností. Míra emisí, které vznikají jeho spálením jsou redukovány na minimum. Svými parametry se blíží zemnímu plynu. Extra lehký topný olej je určen pro použití

v neznečištěných a chráněných krajinných oblastech. Palivo je dodáváno v železničních nádržových vozech nebo pomocí cisternových automobilů, které jsou vybaveny zařízením pro přečerpávání. Při dopravě, manipulaci a skladování musí být dodržovány příslušné předpisy. Úložiště topného oleje je tvořeno většinou tanky s variabilní kapacitou. Nádrže jsou dodávány v provedení jednoplášťovém a dvouplášťovém. Kolem jednoplášťových nádrží musí být zbudovány ochranné jímky, které jsou schopny zachytit 100 % obsahu nádrží.

Výhody při spalování oleje:

- hospodárné, plně automatické a bezobslužné vytápění
- vysoká účinnost, nízké výstupní emise
- vysoká výhřevnost
- palivo dostupné v jakékoliv lokalitě

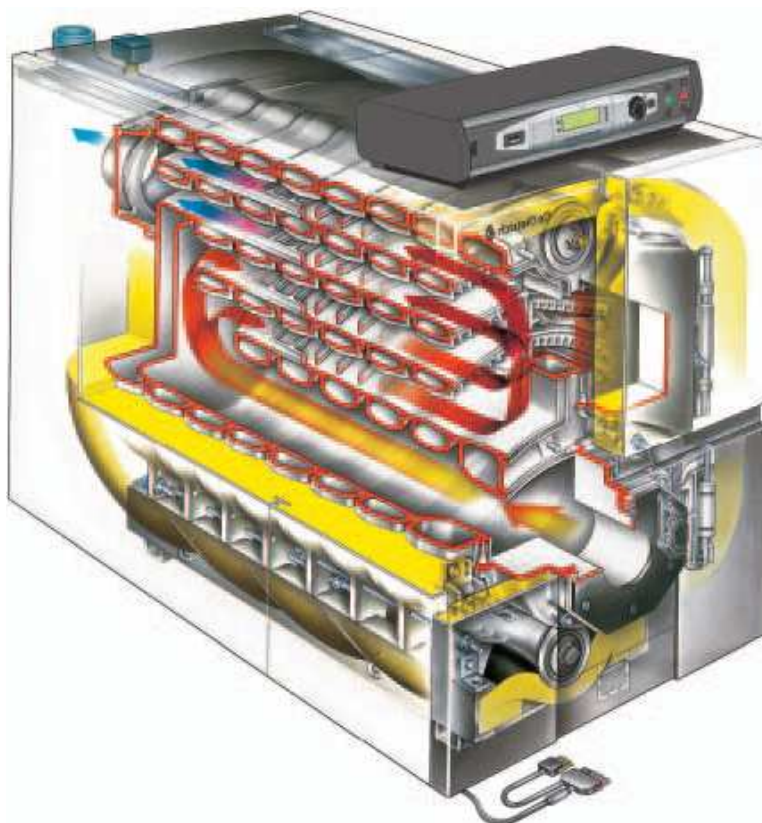
Nevýhody:

- přísné bezpečnostní a požární předpisy při skladování oleje

Výrobci zabývající se dodávkami kotlů na zemní plyn většinou nabízejí i kotle na topný olej, jelikož se jedná o identické konstrukce těles kotlů, pouze s rozdílnými tlakovými hořáky a regulací pro dané palivo.

Mezi významné výrobce patří firmy:

- Buderus
- Danstoker
- De Dietrich
- Lamborghini
- Viadrus
- Viessmann



obr. 9 Litinový nízkoteplotní olejový/plynový kotel De Dietrich GT 430
(výkon od 250 do 700kW, účinnost spalování 96 %) [15]

3.4 Kotle na biomasu

Biomasa označujeme souhrn látek tvořících těla všech organismů, jak rostlin, bakterií, sinic a hub, tak i živočichů. Energie získávaná z biomasy má původ ve slunečním záření a fotosyntéze, proto ji pokládáme za obnovitelný zdroj energie. Oxid uhličitý uvolněný při spalování biomasy je opětně využíván při stavbě těl organismů.

Pro získávání energie můžeme využívat:

1) Biomasy záměrně pěstovanou pro energetické účely

- obilí, olejnin
- energetické dřeviny a traviny

2) Biomasy odpadní

- rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny (kukuřičná, obilná a řepková sláma; zbytky z luk a pastvin; zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů)
- odpady z živočišné výroby (zbytky krmiv; kejda; chlévská mrva, odpady z přidružených provozů)
- komunální organické odpady, zbytky z údržby zeleně a zatravněných ploch
- organické odpady z průmyslových výro
- odpady z dřevařských provozoven (odřezky; hobliny; piliny)
- lesní odpady (dřevo z lesních probírek; kůra; větve; pařezy; klest), palivové dřevo

Základní technologie zpracování se dělí na tzv. suché a mokré procesy. O použití metody rozhoduje obsah vody v biomase. Pro suché procesy (termochemické přeměny) je vhodné využívat především rostlinou biomasu (fytomasu) z různých dřevin a slamnatých plodin. Mezi termochemické přeměny se řadí spalování, zplyňování a pyrolýza. Mokré procesy (biochemické přeměny) zahrnují anaerobní vyhnívání (metanové kvašení), lihové kvašení a výroba biovodíku. Při mokřích procesech se využívají odpady zejména organického původu. Zvláštní podskupinu zpracování biomasy tvoří lisování a esterifikace (např. výroba bionafty). Pro zpracování se pevná fytopaliva přetvářejí do různých forem s danými vlastnostmi a složením. Patří sem:

- brikety, pelety, kompozitní brikety a pelety
- dřevní štěpka, štěpka ze šťovíku
- palivové dřevo, odpadové dřevo, piliny
- seno, sláma a obilní hmota pro spalování
- energetické byliny (miscantus, konopí, křídlatka, šťovík Uteuša)

Hlavní výhodou spalování biomasy je, že se jedná o obnovitelnou surovinu šetrnou k životnímu prostředí (emise, nízký obsah popeloviny).

Nevýhody:

- většinou nutná úprava do vhodné formy pro spalování
- s výjimkou briket a pelet vyšší nároky na skladování
- někdy se mohou v rostlinách objevit vyšší koncentrace škodlivých látek
- v současné době nedostatek biomasy na trhu

Rozmanitost forem biomasy, jejích výhřevnosti a požadavky uživatelů ovlivňují výkonnost a konstrukci topenišť a tepelných výměníků – kotlů. Kotle středních výkonů s různými spalovacími procesy poskytují firmy:

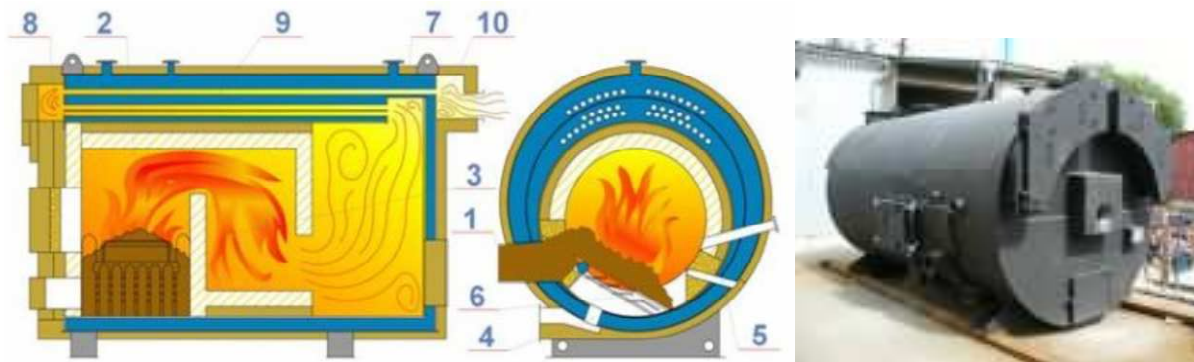
- Atoma
- Danstoker
- Fiedler
- KNDH
- Step
- TTS energo
- Uniconfort
- Verner



obr. 9 Teplovodní kotel Verner GOLEM 900 [16]

tab. 5 Typy teplovodních kotlů spalující biomasu, různých výrobců s uvedením základních parametrů (neuvedené hodnoty výrobce neuvádí)

výrobce	typ kotle	rozsah jmenovitých výkonů [kW]	účinnost [%]	druh paliva
Atoma	KPT	80-500	85	veškerá fytopaliva - palivové dřevo
	PROGRES ECO	80-2500	-	veškerá fytopaliva - palivové dřevo
Danstoker	PFH	200-5000	-	štěpka
	MULTIMISER	220-4400	-	všechny typy fytohmasy
	HHF	525-7000	-	všechny typy fytohmasy
	FVB & GVB	1500-15000	-	podle konstrukce: piliny, pelety, brikety, sláma
Fiedler	SZDO	50-1500	-	podle typu kotle: dřevní piliny či štěpka, pelety, balíková sláma
KNDH	podle výkonu	50-150	až 85	dřevní štěpka (piliny, hobliny, pelety, dřevo) do 50% vlhkosti
Step	STEP-KS	100-1000	86-90	balíky řepkové, obilné slámy, konopí, sťovík Uteuša (odzkoušeny i seno, len, lisovaný papír)
	STEP-KB	100-1000	85-89	směs odřezků, kůry, pilin, lesní štěpky nebo zrna obilnin
TTS-energo	VESKO-B	1000-8000	85	piliny, odřezky, kůra, pelety, dřevní štěpka
	EKOVARIENT	500-1000	85	piliny, hobliny, štěpka, prach, odřezky, kůra, pelety, brikety
	VESKO-S	2000-5000	87	balíky obilné, řepkové slámy, tritikále, len
Uniconfort	DUAL	92-348	-	přírodní dřevo, pelety, dřevoštěpka (možnost připojení hořáku na zemní plyn/ LTO)
	CMTF	406-5800	-	přírodní dřevo, pelety, dřevoštěpka (možnost připojení hořáku na zemní plyn/ LTO)
	BIOTEC/G & BITOTEC/SP	348-5800	-	pevné dřevo s vlhkostí do 45 % o velikosti: G-3cm, SP-30x5x5cm
	GLOBAL/G & GLOBAL/SP	348-5800	-	pevné dřevo s vlhkostí do 55 % o velikosti: G-3cm, SP-30x5x5cm
Verner	GOLEM	90-2500	90	kukuřice, hořčice, pelety z řepky, sťovíku, dřevní pelety s kůrou, bez kůry, piliny, štěpka



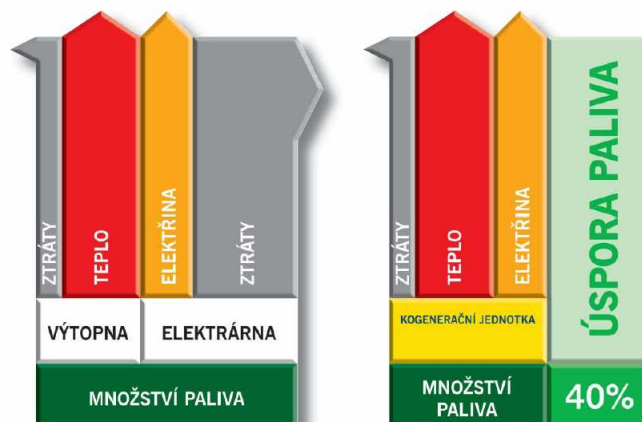
obr. 10 Kotel TTS-energo EKO VARIANT, hlavní části kotle v řezu a celkový pohled
1. vstup paliva, 2. spalovací komora, 3. dohořívací komora, 4. primární vzduch
5. sekundární vzduch, 6. pevný vodou chlazený rošt, 7. obratová komora I
8. obratová komora II, 9. 6árové trubky, 10. kolektor pro odvod spalín [11]

3.5 Kogenerační jednotky

Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie neboli kogenerace je účinným způsobem využívání energie. Hlavní předností kogenerační technologie je vysoká účinnost výroby energie a výrazná úspora paliv oproti oddělené výrobě. To má také výrazný vliv na ekologii a ekonomii výroby sdruženým způsobem. Principiálně jde ve většině případů o spalování plynu ve spalovacím motoru nebo turbině pohánějící generátor elektrické energie se současným využitím odpadního tepla. Kogenerační jednotky se rozlišují především podle druhu použité technologie při získávání elektřiny a tepla a dosahovaného elektrického a tepelného výkonu.

Typy kogeneračních jednotek:

- s parní turbinou
- se spalovací turbinou
- s mikroturbinou
- s paroplynovým cyklem
- se spalovacím motorem
- s palivovým článkem
- se Stirlingovým motorem



obr. 11 Porovnání spotřeby paliva při oddělené a kombinované výrobě elektřiny a tepla [18]

Stupeň přeměny energie obsažené v palivu na elektrickou energii je podle výkonu jednotky cca 25 – 40 %, stupeň přeměny energie paliva na teplo se pohybuje v rozmezí 45- 60 %. Celková účinnost využití energie obsažené v palivu dosahuje 75 – 90 %.

Dominantním palivem pro pohon kogeneračních jednotek je zemní plyn. V současné době však strmě vzrůstá počet zařízení využívajících pro provoz bioplyn, skládkový plyn, čistírenský plyn nebo další alternativní paliva (např. důlní plyn).

Při návrhu instalace KJ je z pohledu ekonomické efektivity nejdůležitějším hlediskem dosažení co nejvyššího poměru vyrobené elektřiny ku získanému teplu, protože elektrickou energii vyrobenou v KJ je možné lépe finančně zhodnotit než vyrobené teplo, ať už se elektřina využívá pro vlastní spotřebu nebo je vyvedena do distribuční sítě. Vyjma nákladů na dodávku kogenerační jednotky je nutné také uvažovat náklady na vyvedení elektrického a topného výkonu, stavební úpravy, regulaci.

KJ jednotka jakéhokoli uvedeného provedení není většinou instalována jako samostatný zdroj, ale většinou je kombinována s jinými energetickými zdroji. Dimenze kogenerační jednotky pro provozní podmínky dané teplárny, kde má být instalována, je podřízena požadavku zajištění příznivější ekonomie provozu teplárny (kombinace výroby elektřiny a tepla) v porovnání s výtopnou. Pro dosažení ekonomického provozu KJ je třeba ji využívat tak, aby:

- kromě vyrobené elektřiny bylo v maximální míře využito i vyrobené teplo
- byla provozována s maximálním ročním časovým využitím

Z těchto předpokladů vyplývá, že tepelný výkon kogenerační jednotky je nutné dimenzovat na nejvyšší roční potřebný výkon zdroje. Tedy pro dodávku tepla na vytápění a ohřev TUV pokrývající letní provoz.

Výrobci kogeneračních jednotek:

- Buderus
- Dagger
- Jenbacher
- Motorgas
- Tedom
- TTS-energo



obr. 11 Kapotovaná kogenerační jednotka Tedom CENTO [18]

tab. 6 Vybrané typy kogeneračních jednotek, různých výrobců s uvedením základních parametrů (neuvedené hodnoty výrobce neuvádí; údaje pro jiný než zemní plyn jsou pouze orientační, závislé od složení plynu)

výrobce	typ	rozsah el. výkonů [kW]	rozsah tepelných výkonů [kW]	el. účinnosti [%]	tepelná účinnosti [%]	celkové účinnosti [%]	druh paliva
Buderus	LOGANOVA E	19-240	32-363	34-36	56-61	88-95	zemní plyn, bioplyn, skládkový plyn
Dagger	CMG (motory MAN)	70-384	109-467	-	-	-	zemní plyn, bioplyn, skládkový plyn
	CPG (motory PERKINS)	38-1008	405-1220	-	-	-	zemní plyn, bioplyn, skládkový plyn
Jenbacher	LEANOX JMS GS-N.L	299-4029	400-3683	38-45	41-51	87-89	zemní plyn
	LEANOX JMS GS-L.L.B.L	330-2738	330-2841	39-42	39-42	76-85	bioplyn
	LEANOX JMS GS-S.L	1819-3044	1994-3525	40-41	47-45	87-88	důlní plyn
	LEANOX GS-S.L	844-1413	915-1525	39-42	45-49	86-87	průvodní plyn naftový
Motorgas	MGM (motory MAN)	34,4-400	56,4-497	31-38	48-50	81-86	zemní plyn
	MGM (motory MAN)	34,4-365	55,5-452	31-39	48-50	80-86	bioplyn
	MGW, APG (motory WAUKESHA)	264-3200	358-3463	36-41	45-49	85-86	zemní plyn
	MGW, APG (motory WAUKESHA)	258-980	353-990	36-41	42-49	82-85	bioplyn
Tedom	CENTO T	76-200	122-276	34-37	52-54	88-89	zemní plyn
	CENTO T	77-177	121-208	33-38	45-53	83-86	bioplyn
	QAUNTO D	400-2000	452-2168	42-44	47-48	90-91	zemní plyn
	QAUNTO D	600-1200	646-1255	42-43	44-46	86-88	bioplyn
TTS-energo	-	200-1500	kogenerace z biomasy pomocí ORC cyklu				např. dřevěná štěpka

4. PROFIL SPOLEČNOSTI ZEZ SILKO, s.r.o.

Adresa společnosti: ZEZ SILKO, s.r.o.
Pod Černým lesem 683
564 22 Žamberk
Czech Republic

Kontakt: tel.: +420 465 673 111
tel.: +420 465 612 328
fax: +420 465 612 319
e-mail: zez@zez-silko.cz

Internet: www.zez-silko.cz

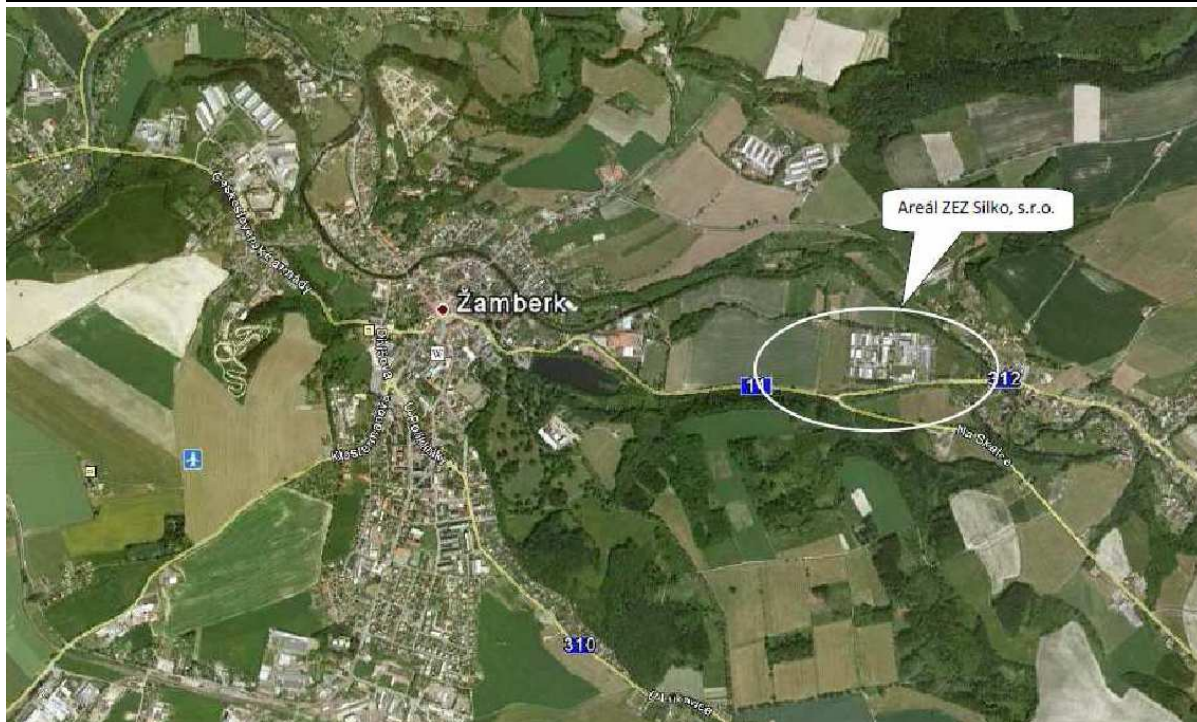
Firma ZEZ SILKO s.r.o. je předním výrobcem výkonových kondenzátorů, kompenzačních a filtračně kompenzačních zařízení nízkého a vysokého napětí v České republice. Zajišťuje komplexní dodávky služeb týkajících se kompenzace účinníku. Nabízí změření parametrů v síti, zpracování projektů a následně výrobu a uvedení zařízení do provozu. Dodává také součástky potřebné pro zajištění požadovaného účinníku, pro měření a regulaci elektrické energie.

Výroba výkonových kondenzátorů má v ČR dlouhou tradici, datuje se od roku 1934. Produkce byla zahájena licenční výrobou firmy Micafil. Roku 1967 byla výroba kondenzátorů ze ZEZ Praha a ZEZ Jablonné nad Orlicí přesunuta do Žamberka. Společnost ZEZ SILKO s.r.o. vznikla transformací státního podniku ZEZ Žamberk v roce 1994.

Výrobní kapacity postupně procházejí významnými modernizacemi. Značné prostředky jsou vynakládány na technický rozvoj, komplexnost a kvalitu služeb. Současné výrobní kapacity jsou vybaveny moderními technologiemi, systém řízení jakosti je certifikován normou ISO 9001. Společnost klade důraz na ekologii a chová se šetrně k životnímu prostředí. Od roku 1984 využívá pro výrobu kondenzátorů výhradně netoxické, ekologicky nezávadné elektroizolační materiály. Zabezpečuje také likvidaci starých kondenzátorů.

Společnost je úspěšná jak na vnitrozemském trhu tak i na celosvětovém. Podíl exportu činí cca 70 % výroby. Společnost vyváží svoje výrobky do velké části vyspělých a dynamicky se rozvíjejících zemí na všech světových kontinentech. Zákazníky lze najít v Kanadě, Mexiku, Brazílii, Chile, Argentině, Peru, Egyptě, Jihoafrické republice. Další významné partneři se nacházejí na Ukrajině, v Rusku, Indii, Pákistánu, Austrálii a dalších.

Areál budov společnosti ZEZ SILKO leží ve městě Žamberk, v okrajové západní části poblíž obce Líšnice, při silnici č. I/11 a při silnici třetí třídy č. 312. Areál tvoří samostatnou průmyslovou zónu, která sestává z celkem 26 objektů, z nichž šest není vytápěno, jeden z objektů je určen k demolici. V současné době se dostavuje nová hala H22, která je přilehlá k budovám H20 a H21.



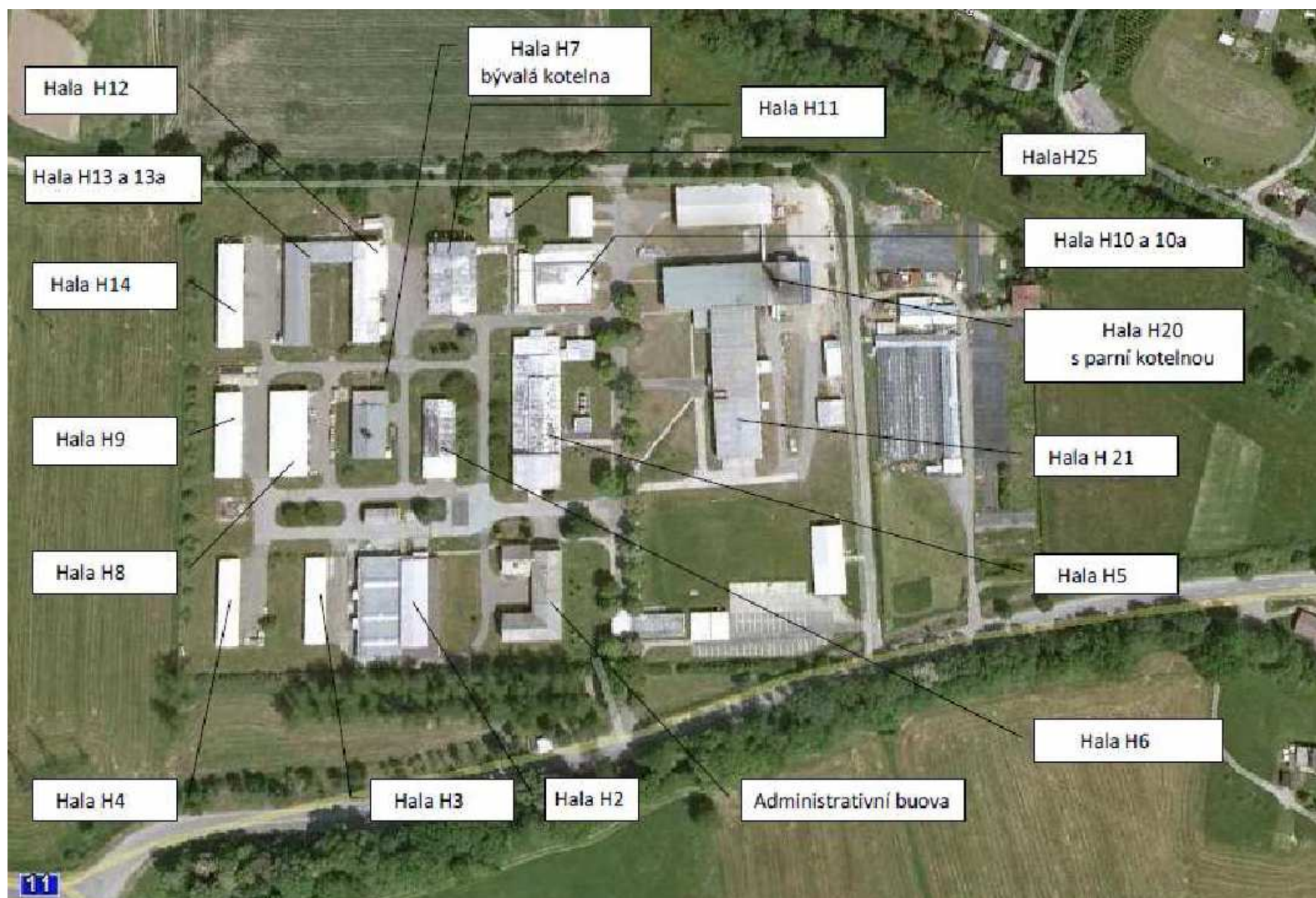
obr. 12 Umístění areálu ZEZ SILKO, s.r.o. u města Žamberk [6]

5. POPIS STÁVAJÍCÍHO ENERGETICKÉHO ZÁSOBOVÁNÍ AREÁLU

Celková koncepce energetického zásobování výrobního areálu ZEZ SILKO v Žamberku je založena na centralizované výrobě tepla na bázi spalování hnědého tříděného uhlí v parní středotlaké kotelně (v budově H20), která je doplněna v některých objektech lokálními topidly spalujícími zemní plyn. V devadesátých letech byla započata plynofikace a zrealizován rozvod zemního plynu po areálu. Vzhledem k prudkému růstu cen zemního plynu management utlumil plynofikování a v současnosti jsou plynem vytápěny pouze vybrané objekty. Jsou to budovy H2, H13, část haly H21 a objekt spojující budovy H12 a H13, ve kterém je umístěn provoz galvanovny tlumivek. Teplem z kotelny je také z části zajištěna příprava TUV, zbytek tepla pro ohřev vody je zajištěn elektřinou. Dodávkami elektrické energie z veřejné vysokonapěťové sítě jsou kryty hlavně potřeby energie pro výrobní účely, pro osvětlení a jak už bylo řečeno pro část přípravy teplé vody. Pro vytápění objektu vrátnice a obchodního oddělení při vjezdu do areálu je také použita elektřina.

Způsob využití budov areálu včetně jejich energetických zařízení je závislý na výrobním programu společnosti. Po stránce spotřeby energií patří mezi nejvýznamnější výrobní budovy (objekty H2, H5, H12, H13, H20, H21) a dále administrativní budova. V dalších objektech jsou situovány energeticky méně náročné činnosti (údržba, vývoj, sklady). Podle využití budov se také odvíjí jejich provozní doby. Administrativní budova, budova údržby, vývoje a skladů jsou až na výjimky provozovány v jedné směně. Naproti tomu výrobní budovy se provozují obvykle ve dvousměnném provozu. Směnnost je dána momentální potřebou využití výrobních zařízení podle nasmlouvaných zakázek a odbytu.

Dále se práce podrobněji zabývá pouze stávající centrální výtopnou, rozvody tepla a budovami na ně napojené, jelikož předmětem zájmu této práce je náhrada centrálního zdroje vytápění, v souladu se zadáním práce.



obr.13 *Letecký pohled na průmyslovou zónu s označením jednotlivých budov [6]*

5.1 Středotlaká parní kotelna

Hnědouhelná středotlaká parní kotelna je základním zdrojem tepla pro vytápění budov, nachází se ve středové části objektu H20. Hnědé tříděné uhlí je z velkokapacitní zastřešené a opláštěné uhelny (objekt 26) přemísťováno do násypky kotle prostřednictvím pásového dopravníku. V současné době je v kotelně instalován jeden kotel Slatina 135/105, vyrobený v roce 1995.



obr.14 Objekt H20 s kotelnou



obr.15 Velkokapacitní uhelna

Technické parametry kotle:

Výrobce	ROUČKA SLATINA BRNO, a.s.
Typ	S 135/105 L
Jmenovitý výkon	3,3 tun/hod
Jmenovitá teplota páry	191 °C
Jmenovitý tlak páry	1,3 MPa
Předepsané palivo	hnědé uhlí tříděné, ořech II
Jmenovitá účinnost	67 %
Rok Výroby	1995
Výrobní číslo	22138

Tento kotel vychází z koncepce ocelových skříňových poloautomatických kotlů vyráběných v 70. a 80. letech dvacátého století. Typově se jedná o vodotrubnatý kotel, který byl vzhledem k tehdejším požadavkům konstruován tak, aby byl schopný spalovat i méně kvalitní paliva, která byla především v 80. letech minulého století často dodávána namísto ořechu (např. hruboprach, prach). Kotel pracuje v poloautomatickém provozu. Je vybaven pásovým roštem s automatickým pojezdem, spalínovým a podroštovým ventilátorem. Nad pásovým roštem je klenutá vyzdívka ze šamotových cihel. Podavač paliva z násypky také funguje v poloautomatickém provozu. Odtah spalín vede kouřovodem do odlučovacího (odpopílkovacího) zařízení.

Kotel podle informací obsluhy nepracuje optimálně na svých jmenovitých hodnotách (tlak 1,3 MPa, teplota 191 °C). Ve skutečnosti je kotel obvykle provozován v průběhu dne na průměrném tlaku 0,8 až 0,9 MPa, teplota páry se obvykle pohybuje v rozmezí 170 až 185 °C.



obr.16 Pásový dopravník mezi
uhelnou a kotelnou



obr.17 Parní kotel Slatina S135/105L

Kondenzátní hospodářství tvoří dvě otevřené kondenzátní nádrže, první v objektu H7 (bývalá kotelna) a druhá v objektu H20 (současná kotelna). Do první nádrže je přiváděn kondenzát z budov, připojených přes rozvody bývalé kotelny v H7, tj. z administrativní budovy, z H3, H4, H6, H7, H8, H9, H11 a H12. V kondenzátu se objevuje poměrně značný podíl páry, který svědčí o špatném technickém stavu odvaděčů kondenzátu. Z tohoto důvodu byly před kondenzátní nádrž zařazeny dodatečně další odvaděče kondenzátu. Tímto zásahem se podařilo částečně omezit ztráty kondenzátu, protože vracející se pára se nemusí odpouštět. Neizolovaná kondenzátní nádrž v H7 je propojena potrubím se sběrnou kondenzátní nádrží v H20. Beztlaký kondenzát je tímto potrubím dopravován pomocí čerpadel. Do kondenzátní nádrže v současné kotelně je přiváděn také z výměníku v tepelné strojovně a od dalších spotřebičů páry. Ze sběrné kondenzátní nádrže se kondenzát čerpá do napájecí nádrže, která je instalována nad kotlem. Napájecí voda prochází chemickou úpravou, ale není dohřívána, takže nedochází k odplynění vody. Do kotle se voda z napájecí nádrže přivádí samotížně. Teplota napájecí vody se pohybuje okolo 80 °C. Obsluha uvádí, že se denně do systému dopouští cca 3,5 m³ surové chemicky upravené vody. Tento stav svědčí o značných ztrátách páry nebo kondenzátu.

V kondenzátním hospodářství zjevně dochází k značným ztrátám tepelné energie. Vyjma ztrát způsobených odpouštěním páry z kondenzátních nádrží a úniků páry i kondenzátu vznikají také významné tepelné úniky vlivem nedostatečných izolací potrubí. Nádrže a armatury nejsou osazeny izolacemi vůbec. Stejným problémem jsou postiženy i topné okruhy.

5.2 Hlavní parní rozvody

Středotlaká pára vede od kotle potrubím DN 150 do rozdělovače, dále potrubím (DN 80/DN 50) do topného kanálu, který vede páru do východní části budovy H20. Odtud pára putuje průchozím zemním kolektorem východním směrem mezi objekty H20 a H5, dále je potrubí vedeno neprůlezným topným kanálem do budovy H7, do zrušené parní uhelné kotelny.

U objektů H10 a H10a je na středotlakém potrubí provedena odbočka (DN 65/DN 40), kterou se dodává teplo do budov H10, H10a a H25. U vstupu do objektu H10 je pára redukována na nízkotlakou. V objektu H7 je tlak páry snížen redukčním ventilem na přetlak 40 kPa. Od redukčního ventilu je pára vedena na původní rozdělovač umístěný v bývalé kotelně. Z rozdělovače jsou vyvedena tři potrubí o jmenovitém průměru DN 100. První dvě jsou zaústěna zpět do topného kanálu, kterým je vedeno parní potrubí DN 80. Jedním

parovodem, směřujícím od objektu H6 severním směrem, jsou zásobovány objekty H5 (DN100/DN65) a H11 (DN65/DN40), druhý parovod, směřující jižním směrem, je veden neprůlezným topným kanálem před halu H2. Jako první je z potrubí vyvedena odbočka pro zásobování haly H6 (DN50/DN40). U haly H2 je tato topná větev rozbočena, z východního směru je připojena přípojka administrativní budovy (DN100/DN50), západním směrem pokračuje topný kanál k halám H3 a H4. Hala H3 je připojena potrubím DN65/DN50, hala H4 potrubím DN50/DN40. Třetí nízkotlaký parovod směřuje z kotelny v H7 západním směrem, jsou z něho teplem zásobovány objekty H8 a H9 a H12. Topný kanál vychází ze západní obvodové zdi objektu H7 (DN100/DN40). Parní rozvody jsou poblíž objektu rozbočeny na dvě větve. První vede od objektu H7 západním směrem k objektu H8 a dále k objektu H9. Objekt H8 je připojen potrubím DN65/DN40, objekt H9 potrubím DN50/DN40. Druhá topná větev je vedena podél západní obvodové zdi H7, severním směrem, k hale H12. Před halou H12 je potrubí ještě rozbočeno pro H12 a H13, odbočka k H13 již není využívána. Hala H12 je napojena potrubími DN65/DN40.

Hlavní parní rozvody jsou kryty nekvalitními izolacemi. Tepelně izolující vrstvy jsou tvořeny rohožemi z minerální vaty a ochrannou vrstvou. Tloušťka izolací na potrubích se pohybuje mezi 20 až 30 mm podle dimenze potrubí. Izolace jsou na mnoha místech poškozené, potrubní armatury nejsou izolovány vůbec.



obr.18 Parní rozvody v kotelně

5.3 Příprava teplé vody

Příprava TUV je v areálu podniku soustředěna do dvou hlavních odběrových míst. Jedním je západní část budovy H20. V jejím prvním i druhém nadzemním podlaží jsou situována sociální zařízení pro cca 70 zaměstnanců z výroby. Pro ohřev vody je namontováno celkem pět kombinovaných zásobníkových ohříváků. Celkový objem akumulace činí 2 m³ vody.

Druhé místo kam byla soustředěna příprava teplé vody je administrativní budova. V prvním nadzemním podlaží se nachází sociální zařízení a stravovací zařízení. Pro sociální zařízení je voda ohřívána v kombinovaném akumulacním ohříváku o objemu 2,5 m³. topné vložky všech kombinovaných zásobníků mohou být vyhřívány teplem z centrální výtopny. Původně byl ohřev vody realizován tak, že v topném období, kdy je v provozu kotelná, byla

voda ohřívána teplem předaným ve výměnících pára/voda. Mimo topnou sezonu se teplá voda připravovala ohřevem pomocí elektřiny.

V současné době je ohřev vody na obou místech realizován pouze na základě spotřeby elektrické energie. Topné okruhy byly však v obou případech zachovány.

Pro stravovací zařízení jsou instalované tři elektrické zásobníkové ohříváky, každý o objemu 400 l. Tyto zásobníky nemají možnost být vyhřívány teplem z kotelny.

5.4 Systém měření a regulace

Systém monitorující celkový stav energetického systému areálu ZEZ SILKO není dosud zaveden. Regulační systém v kotelně je představován v podstatě regulací výkonu kotle. Na kotli je manuálně ovládaný kotlový termostat, který reguluje rychlost pohybu pásového roštu a výšku vrstvy uhlí. Stávající parní kotel není schopen regulace ve větším výkonovém rozsahu.

Celý parní otopný systém pracuje na základě manuálních zásahů obsluhy. Způsob vytápění je následující. V ranních hodinách dojde vždy k „natopení“ vytápěcího systému, tím dojde k přetopení vytápěných prostor. Následně je kotel odstaven a budovy postupně chladnou. Ke konci pracovní doby budovy vychladnou natolik, že vnitřní teploty klesají pod požadovanou úroveň. Tento způsob provozu je nejen neekonomický, ale především v chladných obdobích má neblahý dopad na vnitřní klima budov a na zdravotní stav zaměstnanců. Současný systém vytápění není schopen regulace v souvislosti s dalšími možnými tepelnými zisky budov (např. vnější solární tepelné zisky nebo teplo získané z provozu strojního zařízení) a celkově se vyznačuje ne hospodárným provozem.

6. STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA A DIAGRAMŮ TRVÁNÍ POTŘEBY TEPLA

6.1 Předpoklady a požadavky pro návrh

Rekonstrukce centrálního zdroje vytápění je pouze částí celkového záměru firmy ZEZ Silko vedoucího ke snížení energetické náročnosti výroby. Společnost má zájem se zapojit do státního dotačního programu podporujícího opatření vedoucí k úsporám energií. Za tímto účelem si firma nechala zpracovat studii, posuzující současný stav budov a hospodárnost provozu z hlediska spotřeby energií. Výstupem této studie jsou doporučení pro dosažení takových energetických úspor, které povedou k získání státních dotací na provedení navržených doporučení. Mezi tyto doporučení patří zejména zlepšení tepelně izolačních vlastností budov (zateplení), optimalizace způsobu vytápění a jeho regulace, s tím také úzce souvisí modernizace centrální kotelny, což je cílem této práce.

Pro provedení energeticky úsporných opatření v systémech vytápění počítá společnost se zásadní změnou koncepce vytápění areálu. Uvažuje se s částečnou decentralizací. Centrální výtopna bude užívána pro vytápění těchto objektů: administrativní budova, H2, H5, H11, H20, H21 a po dostavbě také H22, ve které budou umístěny další výrobní kapacity a centrální sklad s expedicí. Dále bude teplo využíváno pro ohřev TUV soustředěné v administrativní budově a H20. V obou případech budou využity stávající kombinované akumulární ohříváče, ke kterým budou obnoveny přívody tepla. Zbývající objekty, které se vyznačují nižší energetickou potřebou (většinou sklady, objekty údržby) nevyžadují udržování vnitřní teploty na hodnotách stejných s výrobními halami. Objekty budou pouze temperovány nebo nebudou

vytápěné vůbec. Pro potřeby skladníků a údržbářů budou zřízeny tepelně izolované místnosti, které budou vytápěné lokálními topidly spalující zemní plyn.

S výměnou centrálního kotle se počítá až po zateplení objektů, kdy se stávající kotel stane značně předimenzovaným. Parní kotel, parní rozvody a ostatní zařízení budou demontovány. S novým centrálním teplovodním zdrojem bude instalován nový teplovodní rozvod, ve formě předizolovaného potrubí.

Pro návrh jsou čerpány údaje z výsledků výše uvedené studie a informace poskytnuté zaměstnanci firmy. Společnost nevede žádnou evidenci spotřeby energií, paliv, vody. Jednotlivé energetické vstupy jsou měřeny pouze centrálně na úrovni celého areálu (ale nejsou měřeny na prahu jednotlivých objektů). V areálu je jediné měřící místo pro odběr elektřiny, pro odběr zemního plynu a pro odběr vody. Dodávky uhlí se nepřevažují a provozovatel vychází z údajů dodavatele, uvedených na fakturách. U centrální dodávky tepla není měřeno množství vyrobené páry ani množství spotřebovaného tepla v jednotlivých objektech.

Potřeba tepla pro vytápění je určena z tepelných ztrát budov po zateplení. K celkové potřebě tepla všech vytápěných budov je připočtena poměrná ztráta tepla v rozvodech. Pro výpočet tepla na ohřev TUV je uvažováno s objemem stávajících akumulčních zásobníků a počtem zaměstnanců, také je uvažováno se směnností provozu.

6.2 Klimatické podmínky lokality

Klimatické podmínky lokality, kde se nachází areál ZEZ Silko, jsou klasifikovány jako mírně teplé. Město Žamberk se nachází v klimatické oblasti MT2.

Klimatické podmínky oblasti jsou charakterizovány těmito údaji:

- nadmořská výška: 420 m.n.m.
- nejnižší dlouhodobá teplota dle ČSN: $t_e = -15\text{ °C}$
- délka topného období (TO):
 - pro $t_{em} = 13\text{ °C} \rightarrow 253\text{ dnů}$
 - (pro $t_{em} = 12\text{ °C} \rightarrow 240\text{ dnů}$)
 - (pro $t_{em} = 15\text{ °C} \rightarrow 290\text{ dnů}$)
- střední venkovní teplota v TO:
 - $t_{es} = 3,6\text{ °C}$ při $t_{em} = 13\text{ °C}$
 - ($t_{es} = 3,1\text{ °C}$ při $t_{em} = 12\text{ °C}$)
 - ($t_{es} = 4,9\text{ °C}$ při $t_{em} = 15\text{ °C}$)
- roční průměrná teplota vzduchu: $7,1\text{ °C}$
- denní střední teplota v nejchladnějším měsíci: $-3,1\text{ °C}$ (leden)
- roční úhrn slunečního záření dopadajícího na plochu 1 m^2 je cca 1028 kWh (3700 MJ)
- krajina s intenzivními větry
- průměrná roční rychlost větru: $< 4,1\text{ m/s}$

$t_{em} \rightarrow$ střední denní venkovní teplota pro začátek a konec topného období

6.3 Tepelný výkon na prahu zdroje

6.3.1 Potřebný topný výkon pro vytápění

Potřebný topný výkon je vypočítán z tepelných ztrát jednotlivých objektů po zateplení, pro nejnižší dlouhodobou teplotu $t_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dostavovaný objekt H22, který je přilehlý k budovám H20 a H21, bude po dokončení také připojen do SCZT, proto je třeba počítat s jeho tepelnou ztrátou při návrhu kotle.

tab. 7 Tepelná ztráta jednotlivých objektů a jejich součet

objekt	tepelná ztráta [kW]
administrativní budova	77,6
H2	192,9
H5	97,6
H11	38,2
H20, H21	211,2
budoucí H22	80
Σ	697,5

Celkový výkon pro vytápění:

$$P_{top} \cong 698 \text{ kW}$$

6.3.1 Potřebný topný výkon pro ohřev TUV

Při návrhu topného výkonu pro ohřev TUV se uvažuje s počtem zaměstnanců, požadavkem provozovatele, aby byly využity stávající akumulční ohříváky TUV, a s typem dvousměnného provozu. Tento topný výkon je stálý během topného období a o něco nižší v letním období, podle teploty vody ve vodovodu.

Podle [3] je měrná potřeba tepla pro přípravu teplé užitkové vody na zaměstnance za směnu, v čistém průmyslovém provozu, rovna 3,24 MJ.

Potřeba vody na jednoho zaměstnance/směna (předpokládá se, že každý zaměstnanec odpracuje jednu osmihodinovou směnu za den):

$$\dot{Q}_{osoba/den} = m \cdot c \cdot (t_{ov} - t_{sv}) \rightarrow m = \frac{Q_{osoba/den}}{c \cdot (t_{ov} - t_{sv})} \quad (6-1)$$

$$m_{osoba/den} = \frac{3,24 \cdot 10^6}{4186 \cdot (55 - 10)} = 17,2 \text{ kg} \Rightarrow V_{TUVosoba/den} = 17,2 \text{ l} \cong 20 \text{ l}_{TUV_osoba/den}$$

Denní potřeba TUV pro celý areál:

- podle informací je celkový počet zaměstnanců 190

$$V_{celk/den} = V_{TUVosoba/den} \cdot n_{zam}$$

$$V_{celk/den} = 20 \cdot 190 = 3800 \text{ l} = 3,8 \text{ m}^3 \text{ TUV / den} \quad (6-2)$$

Celkový objem kombinovaných akumulčních ohříváků v areálu:

- v administrativní budově je instalován ohřívák o objemu 2500 l, v budově H20 je instalováno celkem pět ohříváků o celkovém objemu 2000 l (každý po 400 l)

$$V_{\text{celk,instal}} = 2500 + 2000 = 4500\text{l} = \underline{4,5\text{m}^3}$$

Z výsledků je zřejmé, že objem stávajících zásobníků TUV je plně dostačující. Přebytek objemu tvoří rezervu pro případ, že by společnost rozšiřovala výrobu a potřebovala by zvýšit počet zaměstnanců. Přebytek vody postačuje na pokrytí potřeb dalších 35 osob. Pro výpočet potřebného topného výkonu se proto bude počítat s objemem nádrží $4,5\text{ m}^3$.

Topný výkon pro ohřev TUV:

• během topného období

- teplota studené vodovodní vody v zimním období (volí se $+5$ až $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

→ volím $t_{\text{sv,TO}} = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]

$$Q_{\text{TUV,TO}} = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{\text{ov}} - t_{\text{sv,TO}}) \quad (6-3)$$

$$Q_{\text{TUV,TO}} = 4,5 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 7) = 9,042 \cdot 10^8 \text{ J} = \underline{904,2\text{ MJ}}$$

$$P_{\text{TUV,TO/hod}} = \frac{Q_{\text{TUV,TO}}}{3,6} = \frac{904,2}{3,6} = 251,2\text{ kWh} \rightarrow \text{pro ohřátí } 4,5\text{ m}^3 \text{ za jednu hodinu je potřebný}$$

topný výkon roven $251,2\text{ kW}$

Pro určení topného výkonu je nutné znát čas, po který je TUV žádána během dne a čas nutný pro nabití zásobníků vody. Podle toho se topný výkon mění. Je rozdíl, jestliže bude kotel neustále dotápět zásobníky po celý den, nebo jen nárazově jednou či vícekrát za den. Pro dvě směny denně uvažuji čas, po který je TUV žádána, roven 16 hodinám (s tím, že jeden ohřev všech zásobníků denně postačí pro potřebu všech zaměstnanců v obou směnách). Jako maximální topný výkon se uvažuje výkon potřebný pro ohřátí zásobníků za 8 hodin.

tab. 8 Potřebný topný výkon v závislosti na době ohřevu během TO

čas pro ohřátí [hod]	potřebný topný výkon [kW]
1	251,2
8	31,4
16	15,7
24	10,5

$$P_{\text{TUV,TO}} = \frac{P_{\text{TUV,TO/hod}}}{t} \quad (6-4)$$

$$P_{\text{TUV,TO}} = \frac{251,2}{8} = 31,4\text{ kW} \rightarrow \text{volím} \rightarrow \underline{P_{\text{TUV,TO}} = 35\text{ kW}}$$

- **během letního období**

- teplota studené vodovodní vody v letním období (volí se +15 °C) → volím $t_{sv,l} = 15\text{ °C}$ [3]

$$Q_{TUV,l} = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{ov} - t_{sv,l}) \quad (6-5)$$

$$Q_{TUV,l} = 4,5 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 15) = 7,535 \cdot 10^8 \text{ J} = \underline{753,5 \text{ MJ}}$$

Při výpočtu v letním jsem uvažoval stejně jako v topném období.

$$P_{TUV,LO/hod} = \frac{Q_{TUV,LO}}{3,6} = \frac{753,5}{3,6} = 209,3 \text{ kWh} \rightarrow \text{pro ohřátí } 4,5 \text{ m}^3 \text{ za jednu hodinu je potřebný}$$

topný výkon roven 209,3 kW

tab. 9 Potřebný topný výkon v závislosti na době ohřevu během letního období

čas pro ohřátí [hod]	potřebný topný výkon [kW]
1	209,3
8	26,2
16	13,1
24	8,7

$$P_{TUV,LO} = \frac{P_{TUV,LO/hod}}{t} \quad (6-6)$$

$$P_{TUV,LO} = \frac{209,3}{8} = 26,2 \text{ kW} \rightarrow \text{volím} \rightarrow \underline{P_{TUV,LO} = 30 \text{ kW}}$$

Maximální tepelný výkon na prahu zdroje:

Pro určení celkového topného výkonu na prahu zdroje je potřeba přičíst tepelné ztráty v tepelných sítích a předávacích stanicích. Zde se jedná o max. topný výkon při nejnižší dlouhodobé teplotě t_e .

Účinnost rozvodu tepla:

$$\eta_r = \eta_{ts} \cdot \eta_p$$

$$z = 1 - \eta_r$$

$\eta_{ts} \rightarrow$ účinnost tepelných sítí, podle [2] $\eta_{ts} = 0,96$ až $0,98$

$\eta_p \rightarrow$ účinnost předávacích stanic, podle [2] $\eta_p = \sim 0,99$

$z \rightarrow$ ztráty

$$P_{\max} = [1 + (1 - \eta_r)] \cdot (Q_{top} + Q_{TUV,TO}) = [1 + (1 - 0,98 \cdot 0,99)] \cdot (698 + 35) \quad (6-7)$$

$$\underline{P_{\max} = 754,84 \approx 755 \text{ kW}}$$

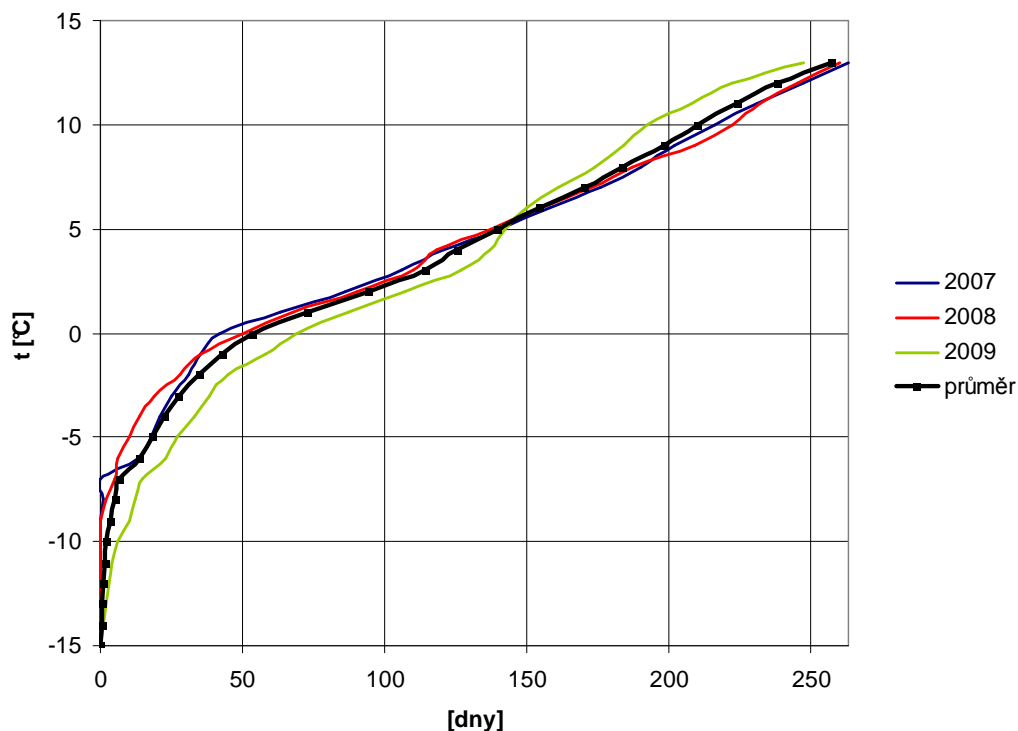
6.4 Stanovení diagramu ročního trvání potřeby tepla

Pro sestavení diagramu byly použity výsledky z kapitoly 6.3. Další potřebné podklady poskytl Český hydrometeorologický ústav, pobočka Hradec Králové. Teploty, podle kterých je sestavena následující tabulka pocházejí z meteorologické stanice Žamberk. Rozsah teplot je od nejnižší dlouhodobé teploty -15 °C do 13 °C, kdy se přestává vytápět.

tab. 10 Četnost denních průměrných teplot v letech 2007 – 2009 (výsledky zaokrouhleny)

průměrná denní teplota [°C]	počet dní v roce 2007 [dny]	počet dní v roce 2008 [dny]	počet dní v roce 2009 [dny]	průměrný počet dní v roce [dny]
13	263	260	247	257
12	247	245	222	238
11	231	232	208	224
10	216	222	192	210
9	202	209	184	198
8	190	187	174	184
7	176	173	161	170
6	158	155	150	154
5	140	137	142	140
4	121	118	137	125
3	106	110	127	114
2	86	90	107	94
1	63	68	87	73
0	42	50	69	54
-1	35	35	58	43
-2	31	28	45	35
-3	25	19	38	27
-4	21	14	33	23
-5	18	10	27	18
-6	13	6	23	14
-7	0	5	15	7
-8	1	2	12	5
-9	0	0	10	3
-10	0	0	6	2
-11	0	0	4	1
-12	0	0	3	1
-13	0	0	2	1
-14	0	0	1	0
-15	0	0	0	0

Délka topného období pro oblast Žamberk je udávána 253 dní. V tabulce poskytnuté ČHMÚ vychází pro teploty rovné a nižší než 13 °C délka TO 257 dní. Tento drobný rozdíl je způsoben tím, že při sestavování tabulky byla teplota 13 °C uvažována jako interval teplot od 13,5 °C do 12,4 °C.



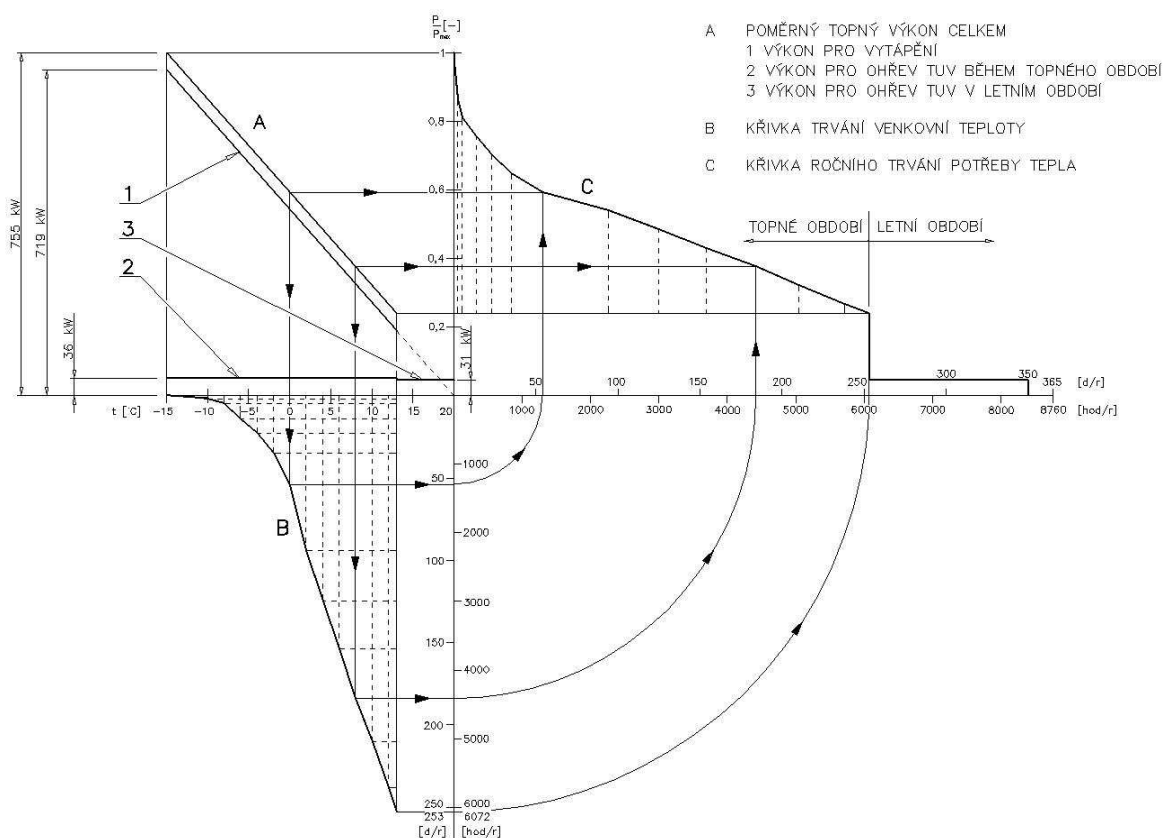
obr. 18 Diagram četnosti výskytu teplot

V tomto předběžném projektu nejsou uvažovány víkendy ani státní svátky (tedy dny volna), protože v případě potřeby je počítáno s výrobou i v nepracovních dnech.

Pro sestrojení diagramu trvání potřeby tepla grafickým způsobem byl použit vypočítaný topný výkon a diagram četnosti (trvání) venkovních teplot. V levém horním kvadrantu jsou vyneseny závislosti potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Součtem těchto potřeb získáme celkový topný výkon. V levém dolním kvadrantu je zobrazen diagram četnosti venkovních teplot. Přenesením jednotlivých bodů do pravého horního kvadrantu sestrojíme roční křivku trvání potřeby tepla. Plocha pod křivkou C vyjadřuje spotřebu tepla za rok.

Tento diagram znázorňuje jakým způsobem se mění potřeba tepla během roku, ale uvažuje pouze maximální topné výkony, kterých má být dosahováno pro zajištění požadované teploty ve vytápěných interiérech. Potřeba tepla se však mění i během dne. Nároky na vytápění jsou maximální v době zahájení pracovní doby a pak postupně klesají. Nejnížší potřeba tepla je v noci, kdy jsou objekty pouze temperovány. Sestrojení denního diagramu potřeby tepla je řešeno v následujícím oddílu 6.5.

Z grafu jsou odečteny hodnoty výkonů uvedených v tabulce č. 11.



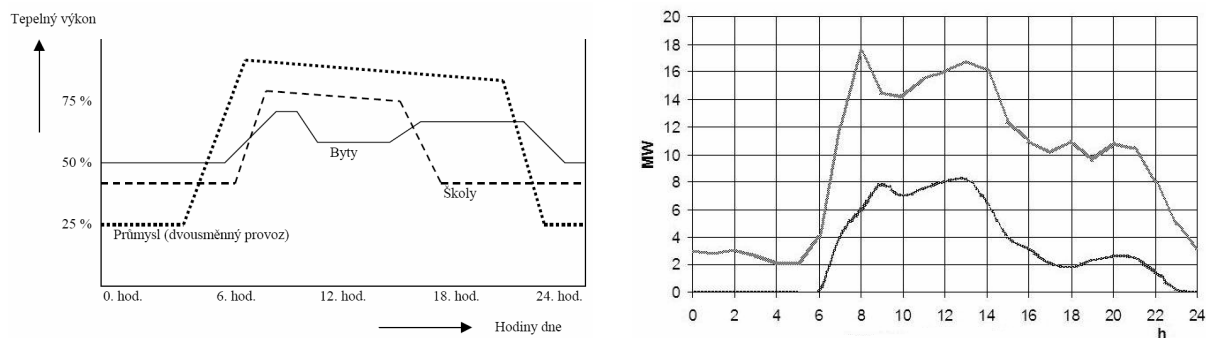
obr.19 Diagram ročního trvání potřeby tepla
(detailní výkres je přiložen v příloze)

tab. 11 Maximální výkony během topného období

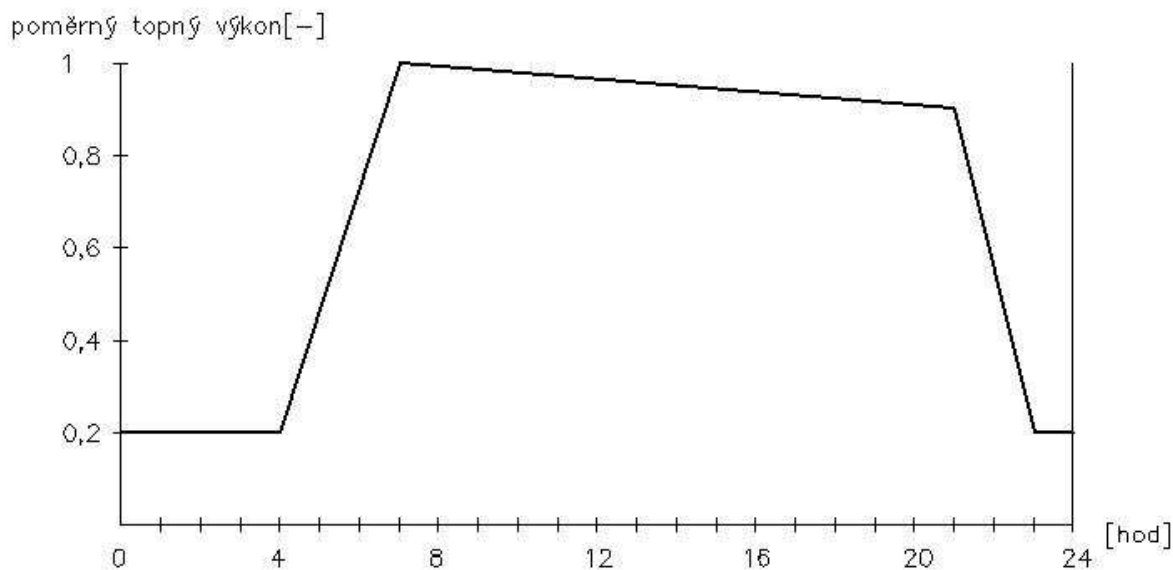
Teplota [°C]	max. výkon pro vytápění $P_{\max, \text{top}}$ [kW]	výkon pro ohřev TUV $P_{\text{ohř}}$ [kW]	max. celkový výkon P_{\max} [kW]
-15	719	36	755
-14	697	36	733
-13	676	36	712
-12	656	36	692
-11	635	36	671
-10	615	36	651
-9	594	36	630
-8	574	36	610
-7	553	36	589
-6	533	36	569
-5	512	36	548
-4	492	36	528
-3	471	36	507
-2	451	36	487
-1	430	36	466
0	410	36	446
1	389	36	425
2	369	36	405
3	348	36	384
4	328	36	364
5	307	36	343
6	287	36	323
7	266	36	302
8	246	36	282
9	226	36	262
10	205	36	241
11	184	36	220
12	164	36	200
13	144	36	180

6.5 Stanovení diagramu denního průběhu potřeby výkonu

Při určení diagramu denního průběhu potřeby výkonu se vycházelo z informací uvedených v dostupné literatuře uvedené v seznamu použitých zdrojů [8], [9], kde jsou uvedeny typické průběhy denních potřeb výkonu pro podniky s dvousměnným provozem. Výsledný diagram je pouze obecný. Od zadavatele nebyly poskytnuty k dispozici žádná data, ze kterých by se dalo čerpat a sestavit diagram přesně pro zadaný průmyslový komplex.



obr.20, 21 Typické průběhy denní potřeby výkonu [8], [9]



obr.22 Diagram denního průběhu potřeby výkonu

Tento diagram byl vytvořen v programu AutoCAD, jsou odečteny poměrné výkony po hodinách a z těchto hodnot je sestavena tabulka č. 12.

tab. 12 Změna poměrného topného výkonu během dne

hodina	poměrný topný výkon
P_t/P_{\max}	
[hod]	[-]
1	0,200
2	0,200
3	0,200
4	0,200
5	0,470
6	0,730
7	1,000
8	0,993
9	0,986
10	0,979
11	0,972
12	0,965
13	0,957
14	0,950
15	0,943
16	0,936
17	0,929
18	0,922
19	0,915
20	0,907
21	0,900
22	0,550
23	0,200
24	0,200

6.6 Určení potřeby tepla a topného výkonu

Výpočet je proveden v programu Microsoft Excel, výsledky jsou zaokrouhlené. Při výpočtu se opět vycházelo z informací poskytnutých ČHMÚ a hodnotami odečtenými z obou výše uvedených diagramů.

tab. 13 Průměrné denní teploty referenčního roku a počet topných dnů v měsíci

průměrný rok	měsíc											
dny	leden T ₁ [°C]	únor T ₂ [°C]	březen T ₃ [°C]	duben T ₄ [°C]	květen T ₅ [°C]	červen T ₆ [°C]	červenec T ₇ [°C]	srpen T ₈ [°C]	září T ₉ [°C]	říjen T ₁₀ [°C]	listopad T ₁₁ [°C]	prosinec T ₁₂ [°C]
1	-1,7	0,6	5,0	7,4	8,8	15,7	18,3	18,4	16,2	11,6	4,2	4,5
2	-3,0	2,0	4,0	7,0	10,0	16,5	19,1	20,5	16,6	10,8	7,4	2,2
3	-4,4	1,8	3,5	8,0	10,4	14,4	19,8	18,1	17,0	9,2	7,8	1,7
4	-2,2	3,3	2,0	6,3	11,4	13,8	16,6	16,3	13,6	10,0	5,3	1,4
5	-1,3	2,0	3,1	8,2	11,6	14,0	15,5	16,9	14,0	8,9	5,7	1,7
6	-2,9	2,7	2,8	7,7	10,1	16,1	18,0	18,4	14,6	10,8	4,9	3,7
7	-0,8	2,7	4,4	6,2	11,6	16,2	16,5	19,9	13,8	11,0	6,1	3,9
8	-1,9	1,2	3,9	6,4	11,7	15,7	15,6	18,5	13,7	10,8	7,0	2,4
9	-2,7	-0,6	2,8	10,7	12,2	19,3	14,7	17,4	13,3	8,0	5,9	0,6
10	0,9	0,3	3,0	12,1	14,3	18,1	13,9	17,8	14,9	7,7	4,5	1,9
11	-0,5	0,3	3,6	11,8	13,6	16,6	15,5	19,4	14,3	8,1	3,5	3,1
12	0,1	0,2	4,6	9,9	12,4	14,0	15,1	19,2	12,6	7,4	3,2	1,5
13	0,4	-0,4	3,8	9,4	13,7	14,5	17,2	16,8	10,1	5,7	4,6	-0,4
14	-0,2	0,1	3,9	10,5	14,8	16,1	18,7	17,5	10,2	5,1	3,5	-0,8
15	-1,9	-1,7	3,4	11,1	13,6	17,9	20,8	18,3	12,4	5,3	2,7	0,1
16	-1,6	-2,8	3,7	10,0	10,9	14,4	20,9	17,2	10,8	6,5	2,8	-2,4
17	-1,1	-3,8	3,6	8,5	12,3	15,4	21,3	16,8	12,7	5,9	2,1	-2,9
18	2,8	-1,2	3,1	7,0	12,8	18,3	17,6	15,9	12,0	4,4	0,2	-5,0
19	4,6	-1,5	0,0	7,4	11,6	17,6	18,5	18,5	9,2	2,7	3,3	-4,7
20	6,3	0,0	-0,7	9,0	14,4	17,6	19,1	17,2	9,9	4,1	3,5	-6,9
21	4,7	-0,3	0,1	10,0	15,4	17,8	17,1	18,2	10,9	5,1	1,7	-5,1
22	0,9	2,3	1,4	9,1	16,0	17,0	17,8	17,4	11,1	7,5	0,5	-0,3
23	-0,8	2,5	2,6	8,6	14,6	17,7	19,5	16,9	11,0	4,5	3,2	-1,2
24	-0,3	2,1	1,5	10,8	16,3	17,4	18,4	14,8	10,7	5,8	2,4	0,1
25	-1,7	1,2	1,9	9,5	17,8	19,0	16,2	16,7	10,6	6,2	2,4	0,2
26	-1,5	2,8	2,4	12,2	18,5	17,8	17,1	17,6	10,1	6,1	0,8	-2,9
27	-0,3	3,5	4,0	12,3	17,3	16,5	19,1	17,7	10,7	7,9	0,6	-4,0
28	0,5	2,7	6,0	13,5	14,7	16,4	18,4	17,6	9,9	7,8	-1,2	-3,7
29	0,5	2,7	3,7	11,5	13,3	18,3	18,4	14,3	11,2	7,6	1,2	-5,2
30	0,7	-	5,0	12,1	13,1	17,9	17,3	12,3	9,9	5,5	4,9	-3,1
31	-	-	6,4	-	16,0	-	17,4	12,4	-	3,7	-	-2,3

průměrná měsíční teplota	[°C]	-0,3	0,9	3,2	9,5	13,4	16,6	17,7	17,3	12,3	7,1	3,5	-0,7
průměrná roční teplota	[°C]	8,4											
T _{max, prům.}	[°C]	21,3											
T _{min, prům.}	[°C]	-6,9											
počet topných dnů v měsíci	[°C]	30	29	31	30	16	0	0	2	20	31	30	31

Z dostupných hodnot průměrných denních teplot za roky 2007 – 2009 je sestavena tabulka teplot pro referenční rok, která je výchozí pro další výpočty (tab. 13). Dále je pro každý den, podle venkovní teploty, určený maximální topný výkon (viz kapitola 6.3, tab. 11). Při teplotách vyšších jak 13 °C, tedy v letním období, je topný výkon roven nule a výkon pro ohřev TUV je nižší než během topného období.

tab. 14 Maximální výkony pro vytápění a ohřev TUV podle venkovní teploty

dny	měsíc											
	leden		únor		březen		duben		květen		červen	
	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV
	$P_{1 \max, \text{top}}$	$P_{1 \max, \text{TUV}}$	$P_{2 \max, \text{top}}$	$P_{2 \max, \text{TUV}}$	$P_{3 \max, \text{top}}$	$P_{3 \max, \text{TUV}}$	$P_{4 \max, \text{top}}$	$P_{4 \max, \text{TUV}}$	$P_{5 \max, \text{top}}$	$P_{5 \max, \text{TUV}}$	$P_{6 \max, \text{top}}$	$P_{6 \max, \text{TUV}}$
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
1	451	36	389	36	307	36	266	36	226	36	0	31
2	471	36	369	36	328	36	266	36	205	36	0	31
3	492	36	369	36	328	36	246	36	205	36	0	31
4	451	36	348	36	369	36	287	36	184	36	0	31
5	430	36	369	36	348	36	246	36	164	36	0	31
6	471	36	348	36	348	36	246	36	205	36	0	31
7	430	36	348	36	328	36	287	36	164	36	0	31
8	451	36	389	36	328	36	287	36	164	36	0	31
9	471	36	430	36	348	36	184	36	164	36	0	31
10	389	36	410	36	348	36	164	36	0	31	0	31
11	430	36	410	36	328	36	164	36	0	31	0	31
12	410	36	410	36	307	36	205	36	164	36	0	31
13	410	36	410	36	328	36	226	36	0	31	0	31
14	410	36	410	36	328	36	184	36	0	31	0	31
15	451	36	451	36	348	36	184	36	0	31	0	31
16	451	36	471	36	328	36	205	36	184	36	0	31
17	430	36	492	36	328	36	226	36	164	36	0	31
18	348	36	430	36	348	36	266	36	144	36	0	31
19	307	36	451	36	410	36	266	36	164	36	0	31
20	287	36	410	36	430	36	226	36	0	31	0	31
21	307	36	410	36	410	36	205	36	0	31	0	31
22	389	36	369	36	389	36	226	36	0	31	0	31
23	430	36	348	36	348	36	226	36	0	31	0	31
24	410	36	369	36	369	36	184	36	0	31	0	31
25	451	36	389	36	369	36	205	36	0	31	0	31
26	451	36	348	36	369	36	164	36	0	31	0	31
27	410	36	328	36	328	36	164	36	0	31	0	31
28	389	36	348	36	287	36	144	36	0	31	0	31
29	389	36	348	36	328	36	164	36	144	36	0	31
30	389	36	-	-	307	36	164	36	144	36	0	31
31	-	-	-	-	287	36	-	-	0	31	0	31

tab. 15 Celkové maximální výkony podle jednotlivých měsíců

ref.rok			měsíc											
			leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
výkon pro vytápění	$P_{i,prům,top}$	[kW]	415,2	392,1	343,7	215,9	174,3	0,0	0,0	164,0	184,4	261,1	336,6	423,0
výkon pro ohřev TUV	$P_{i,prům,TUV}$	[kW]	36,0	36,0	36,0	36,0	33,6	31,0	31,0	31,3	34,3	36,0	36,0	36,0
celkový průměrný výkon	$P_{i,prům,celk}$	[kW]	451,2	428,1	379,7	251,9	207,9	31,0	31,0	195,3	218,7	297,1	372,6	459,0

V tabulce č. 15 jsou uvedené průměrné maximální měsíční výkony, které jsou vypočítané jako průměry hodnot z tabulky č. 14.

• Stanovení průběhu výkonů během dne

Pro stanovení denního průběhu výkonu je použita tabulka č. 12, 15. Vynásobil jsem celkový průměrný výkon pro jednotlivé měsíce poměrným topným výkonem a získal tak potřebný topný výkon během 24 hodin.

$$P_i^h = P_{i,prům,celk} \cdot \left(\frac{P_h}{P_{max}} \right) [kW] \quad (6 - 8)$$

Např. pro měsíc leden, dvanáctá hodina:

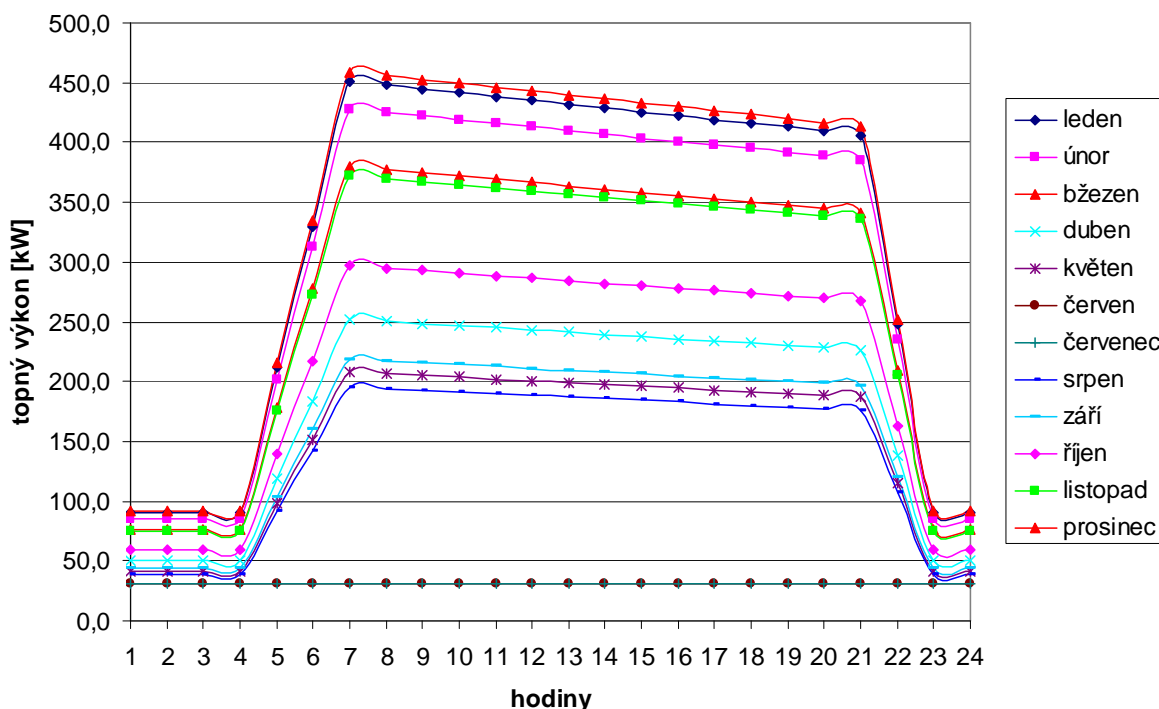
$$P_1^{12} = P_{i,prům,celk} \cdot \left(\frac{P_{12}}{P_{max}} \right) = 451,2 \cdot 0,965 = 435,4 [kW]$$

Výsledný průměrný denní topný výkon, je vypočítán jako aritmetický průměr hodinových topných výkonů pro jednotlivé měsíce.

Zde jsou uvažovány dny během topného období, pouze v červnu a červenci se nevyskytuje ani jeden den kdy by teplota klesala po 13°C. Proto je topný výkon roven výkonu pro ohřev TUV.

tab. 16 Topné výkony během dne

hodina	měsíc													
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec		
	P_1^h	P_2^h	P_3^h	P_4^h	P_5^h	P_6^h	P_7^h	P_8^h	P_9^h	P_{10}^h	P_{11}^h	P_{12}^h		
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]		
1	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
2	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
3	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
4	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
5	212,1	201,2	178,4	118,4	97,7	31,0	31,0	91,8	102,8	139,6	175,1	215,7		
6	329,4	312,5	277,2	183,9	151,8	31,0	31,0	142,6	159,7	216,9	272,0	335,1		
7	451,2	428,1	379,7	251,9	207,9	31,0	31,0	195,3	218,7	297,1	372,6	459,0		
8	448,0	425,1	377,0	250,1	206,4	31,0	31,0	194,0	217,2	295,0	370,0	455,8		
9	444,9	422,1	374,4	248,4	205,0	31,0	31,0	192,6	215,7	292,9	367,4	452,6		
10	441,7	419,1	371,7	246,6	203,5	31,0	31,0	191,2	214,1	290,8	364,8	449,4		
11	438,6	416,1	369,0	244,8	202,1	31,0	31,0	189,9	212,6	288,7	362,2	446,1		
12	435,4	413,1	366,4	243,1	200,6	31,0	31,0	188,5	211,1	286,7	359,6	442,9		
13	431,8	409,7	363,4	241,1	199,0	31,0	31,0	186,9	209,3	284,3	356,6	439,3		
14	428,6	406,7	360,7	239,3	197,5	31,0	31,0	185,6	207,8	282,2	354,0	436,1		
15	425,5	403,7	358,0	237,5	196,0	31,0	31,0	184,2	206,3	280,1	351,4	432,8		
16	422,3	400,7	355,4	235,8	194,6	31,0	31,0	182,8	204,7	278,1	348,8	429,6		
17	419,2	397,7	352,7	234,0	193,1	31,0	31,0	181,5	203,2	276,0	346,1	426,4		
18	416,0	394,7	350,1	232,3	191,7	31,0	31,0	180,1	201,7	273,9	343,5	423,2		
19	412,8	391,7	347,4	230,5	190,2	31,0	31,0	178,7	200,1	271,8	340,9	420,0		
20	409,2	388,3	344,4	228,5	188,6	31,0	31,0	177,2	198,4	269,4	337,9	416,3		
21	406,1	385,3	341,7	226,7	187,1	31,0	31,0	175,8	196,9	267,4	335,3	413,1		
22	248,2	235,5	208,8	138,5	114,3	31,0	31,0	107,4	120,3	163,4	204,9	252,5		
23	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
24	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	31,0	31,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8		
průměrný denní výkon P_{1-24}	323,4	306,9	272,2	180,6	149,0	31,0	31,0	140,0	156,8	212,9	267,1	329,0		



obr.23 Denní průběh potřeby topného výkonu pro jednotlivé měsíce (pozn.: topné výkony v měsíci červnu a červenci jsou shodné a pouze pro ohřev TUV)

- **Stanovení celkové roční potřeby tepla**

Celková roční potřeba tepla zahrnuje všechno teplo potřebné pro vytápění a ohřev TUV během topného i letního období. V této kapitole se ještě neuvažuje jakým způsobem bude teplo dodáváno. Roční potřeba tepla je vypočítána jako součet průměrných denních topných výkonů vynásobených počtem dní, po který má být výkon dodáván.

Měsíční potřeba tepla během topného období:

$$Q_i^{TO} = P_i^{1-24,TO} \cdot pd_i^{TO} \cdot 3,6 \cdot 24 [MJ] \quad (6-9)$$

Př.: měsíc leden

$$Q_1^{TO} = P_1^{1-24,TO} \cdot pd_1^{TO} \cdot 3,6 \cdot 24 = 324,4 \cdot 30 \cdot 3,6 \cdot 24 = 838344 [MJ]$$

Měsíční potřeba tepla během letního období:

$$Q_i^{LO} = P_i^{1-24,LO} \cdot pd_i^{LO} \cdot 3,6 \cdot 24 [MJ] \quad (6-10)$$

Př.: měsíc květen

$$Q_5^{LO} = P_5^{1-24,LO} \cdot pd_5^{LO} \cdot 3,6 \cdot 24 = 31 \cdot 15 \cdot 3,6 \cdot 24 = 40176 [MJ]$$

Celková měsíční potřeba tepla:

$$Q_i = Q_i^{TO} + Q_i^{LO} [MJ] \quad (6-11)$$

Př.: měsíc květen

$$Q_5 = Q_5^{TO} + Q_5^{LO} = 206011,8 + 40176 = 246187 [MJ]$$

$$\rightarrow 246187 \cdot 10^{-3} = 246,2 GJ$$

Roční potřeba tepla:

$$Q_{rok} = \sum Q_i$$

$$Q_{rok} = 5757,4 \text{ GJ}$$

(6 – 12)

tab. 17 Výpočet celkové roční potřeby tepla

		měsíc											
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
		P ₁ ¹⁻²⁴	P ₂ ¹⁻²⁴	P ₃ ¹⁻²⁴	P ₄ ¹⁻²⁴	P ₅ ¹⁻²⁴	P ₆ ¹⁻²⁴	P ₇ ¹⁻²⁴	P ₈ ¹⁻²⁴	P ₉ ¹⁻²⁴	P ₁₀ ¹⁻²⁴	P ₁₁ ¹⁻²⁴	P ₁₂ ¹⁻²⁴
		[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
průměrný denní výkon, topné období	P _i ^{1-24,TO}	323,4	306,9	272,2	180,6	149,0	0,0	0,0	140,0	156,8	212,9	267,1	329,0
průměrný denní výkon, letní období	P _i ^{1-24,LO}	0	0	0	0	31	31	31	31	31	0	0	0
počet topných dnů v měsíci	pd _i ^{TO} [dny]	30	29	31	30	16	0	0	2	20	31	30	31
počet dnů letního období v měsíci	pd _i ^{LO} [dny]	0	0	0	0	15	30	31	29	10	0	0	0
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁	Q ₁₂
		[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]
měsíční potřeba tepla, topné období	Q _i ^{TO}	838344,0	768915,6	728967,9	468038,3	206011,8	0,0	0,0	24194,4	270942,4	570353,9	692302,7	881264,6
měsíční potřeba tepla, letní období	Q _i ^{LO}	0,0	0,0	0,0	0,0	40176,0	80352,0	83030,4	77673,6	26784,0	0,0	0,0	0,0
celková měsíční potřeba tepla	Q _i	838344,0	768915,6	728967,9	468038,3	246187,8	80352,0	83030,4	101868,0	297726,4	570353,9	692302,7	881264,6
		[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[GJ]
celková měsíční potřeba tepla	Q _i	838,3	768,9	729,0	468,0	246,2	80,4	83,0	101,9	297,7	570,4	692,3	881,3
		[GJ/rok]											
celkem za rok	Q _{rok}	5757,4											

7. NÁVRH VARIANT KONCEPČNÍHO ŘEŠENÍ

V práci jsou navrženy dvě možnosti řešení modernizace kotelny. Podle přání zadavatele je jako hlavní zdroj upřednostňován kotel na tuhá paliva, který bude pokrývat průměrnou potřebu tepla během topného období. Tento hlavní zdroj bude doplněn špičkovým zdrojem na zemní plyn, který bude pokrývat zvýšenou potřebu tepla při poklesu venkovních teplot pod průměrné měsíční hodnoty. Špičkový zdroj bude zároveň plnit funkci záložního zdroje při výpadku hlavního kotle, tak aby vytápěné prostory byli alespoň temperovány a nedošlo k zamrznutí teplovodních rozvodů. Během letního období bude hlavní kotel trvale odstaven, ohřev teplé TUV bude zajištěn vytápěním zásobníků, pomocí stávajících odporových topidel, pomocí elektrické energie. Popřípadě by mohly být vyhřívány nárazovým spouštěním kotle na ZP, tímto způsobem by se však zvyšovala spotřeba energie (zemního plynu), protože by se musel natopit nejen objem zásobníků TUV, ale i objem teplosnosného média v rozvodech.

Obě navržené varianty jsou chápány jako předběžné návrhy. Přesný návrh pak bude záviset na zvoleném dodavateli a na projektantech s potřebnými zkušenostmi a praxí v tomto oboru.

7.1 Volba druhu paliva

V této kapitole jsou popsány druhy paliv, které budou v rekonstruované kotelně využívány a také důvody proč společnost nepřistoupila na možnost využívání OZE.

7.1.1 Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie

Společnost ZEZ Silko, s. r. o. nemá k dispozici lokalitu vhodnou pro instalaci malé vodní elektrárny ani místo příhodné pro výstavbu větrné elektrárny (k dispozici není ani dostatečný větrný potenciál). Z hlediska možností energetického zásobování využívajícího OZE připadají teoreticky v úvahu tyto varianty:

- Biomasa (použití kotlů spalující biomasu)
- Solární energie (instalace solárních panelů pro ohřev TUV)
- Geotermální energie (instalace tepelného čerpadla)

Využití OZE stěhuje dosud cenově velmi přijatelné hnědé uhlí, které je v centrální výtopně doposud spalováno a také již zbudované a částečně provozované napojení areálu na plynárenskou síť. Použití biomasy bylo zvažováno, avšak poté co se zadavatel předběžně poptával v regionu po palivech charakterizovatelných jako biomasa byla tato možnost zavržena. Není jisté, že by se podařilo zabezpečit dodávky potřebného množství materiálu za příznivou cenu v přijatelných dopravních vzdálenostech.

V porovnání s cenou tepla získaného ze zemního plynu, zejména však z uhlí, ale i z hlediska celkových investic, jsou uvedené systémy OZE zcela nekonkurenceschopné. Z těchto důvodů se společnost rozhodla po modernizaci opět využívat konvenční paliva jakými jsou hnědé uhlí a zemní plyn.

7.1.2 Hnědé uhlí

Budou zachovány stávající dodávky uhlí realizované společností MEXI Plus spol. s r. o., Radlická 1302, Praha 5. Pouze se změní množství dováženého paliva podle nároků použitého kotle.

Dodávané hnědé uhlí pochází z Ledvic z produkce:

- Severočeské doly, a. s. Chomutov
- Doly Bílina
- Úpravna uhlí Ledvice

Dodávané uhlí je v kvalitě Ořech II se základními jakostními znaky uvedenými v následující tabulce.

tab. 18 Základní jakostní znaky hnědé uhlí

označení	druh	klíč třídnosti	zrnění	obsah popela v bezvodé m stavu A^d	obsah síry v původním stavu S^r	obsah vody v původním stavu W^r_t	výhřevnost v původním stavu Q^r_i	min. výhřevnost u tříděného uhlí $Q^r_{i,min}$	výhřevnost výpočtová Q^r_{ivyp}
			[mm]	[%]	[%]	[%]	[GJ/t]	[GJ/t]	[GJ/t]
ořech II	o2	122	10 až 25	9,8	0,77	30,2	17,6	16,5	17

7.1.3 Zemní plyn

Dodavatelem zemního plynu bude nadále podle smlouvy společnost Východočeská plynárenská, a. s., Pražská třída 702, Hradec Králové (člen skupiny RWE).

Dodávaný plyn má složení a vlastnosti uvedené v tabulkách č. 19 a 20.

tab. 19 Složení zemního plynu

CH ₄	vyšší uhlovodíky	CO ₂	N ₂	S
[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/m ³]
987	1,16	0,05	0,79	0,20

tab. 20 Vlastnosti zemního plynu

výhřevnost	spalné teplo	hustota
[kWh/m ³]	[kWh/m ³]	[kg/m ³]
9,5	10,5	0,69
[MJ/m ³]	[MJ/m ³]	
34,2	37,8	

7.2 Varianta A

Tato varianta se zabývá možností rekonstrukce výtopny tak, že jako hlavní centrální zdroj bude použit hnědouhelný kotel. Tento kotel je vybrán z kotlů nabízených tuzemskými výrobci nebo dodavateli, tak aby byl zajištěn dostupný servis a údržba. Je zvolen takový typ, který bude svým výkonem odpovídat požadavkům na dodané teplo. Jako špičkový zdroj je v tomto předběžném návrhu zvolen jeden kotel spalující zemní plyn. V přesném návrhu se nevylučuje např. kaskádní zapojení kotlů o nižším výkonu. Tato volba však záleží na projektantovi, na zkušenostech a přesných znalostech výhod různých zapojení a na specifických podmínkách každé instalace.

7.2.1 Volba hlavního hnědouhelného kotle

Stanovení výkonu HU kotle:

Tento kotel má pokrýt nejvyšší průměrný výkon pro vytápění v nejchladnějším měsíci, kterým je v tomto případě prosinec. Z tabulky č. 15 je odečten maximální průměrný potřebný výkon během topného období:

$$P_{HU,kotel}^{var.A} = P_{12}^{průr, celk} = 459[kW] \quad (7-1)$$

$$\underline{\underline{P_{HU,kotel}^{var.A} \cong 460[kW]}}$$

Zvolený typ HU kotle:

Z nabízených kotlů se nejvíce blíží svým výkonem kotel nabízený firmou Varimatik. Tento kotel, typ VM 500, má jmenovitý výkon 430 kW a maximální výkon 490 kW a je určen pro spalování hnědého uhlí s označím Ořech II.

- Výrobce:** Varimatic, s. r. o.
Dřínovská 3
Most – Komořany
434 01

- Popis kotle Varimatik VM 500**

Kotel je řešen jako svařenec z ocelových plechů a trubek. Přenos tepla ze spalovaného paliva do teplotnosného média je realizován přes stěny spalovací komory a stěny spalínového

výměníku. Palivo je spalováno na horní části válcového roštu. Do jeho vnitřní horní části je nasáván spalovací vzduch. Na rošt je přiváděno palivo skluzem z násypky paliva. Cyklicky je pak vynášeno do spalovacího prostoru. Zde probíhá intenzivní hoření způsobené tahem spalínového ventilátoru. Vzniklé spaliny jsou vedeny podél stěn spalovacího prostoru do spalínového výměníku. Zde jsou vychlazené na teplotu cca 180°C. Přes kouřovod - obvykle nerezová polohebná hadice - jsou spaliny přiváděny na vstupní hrdlo ventilátoru, kterým jsou pak vháněny do komínového odtahu.

Teplonosné médium je přes vstupní hrdlo umístěné v dolní části zadní stěny kotle, přiváděno do dvojitého pláště spalínového výměníku. Rozdílem měrné hmotnosti ohřívajícího média dochází k jeho proudění podél vnitřních stěn do horních partií kotle odkud je následně, přes výstupní hrdlo, vyvedeno z kotle do topného okruhu.

Na boku kotle je umístěna skříňka řídicí automatiky. Zapíná a vypíná chod spalínového ventilátoru a roštu kotle podle nastavené teploty topné vody (krok roštu). Řídicí automatika a nastavitelný kotlový termostat umožňují nastavení teploty výstupní vody z kotle v rozmezí hodnot 60-90°C. Pro případ selhání funkce kotlového termostatu je kotel vybaven pojistným (havarijním) termostatem.

Řídicí automatika umožňuje nastavení podávání optimálního množství paliva. [11]

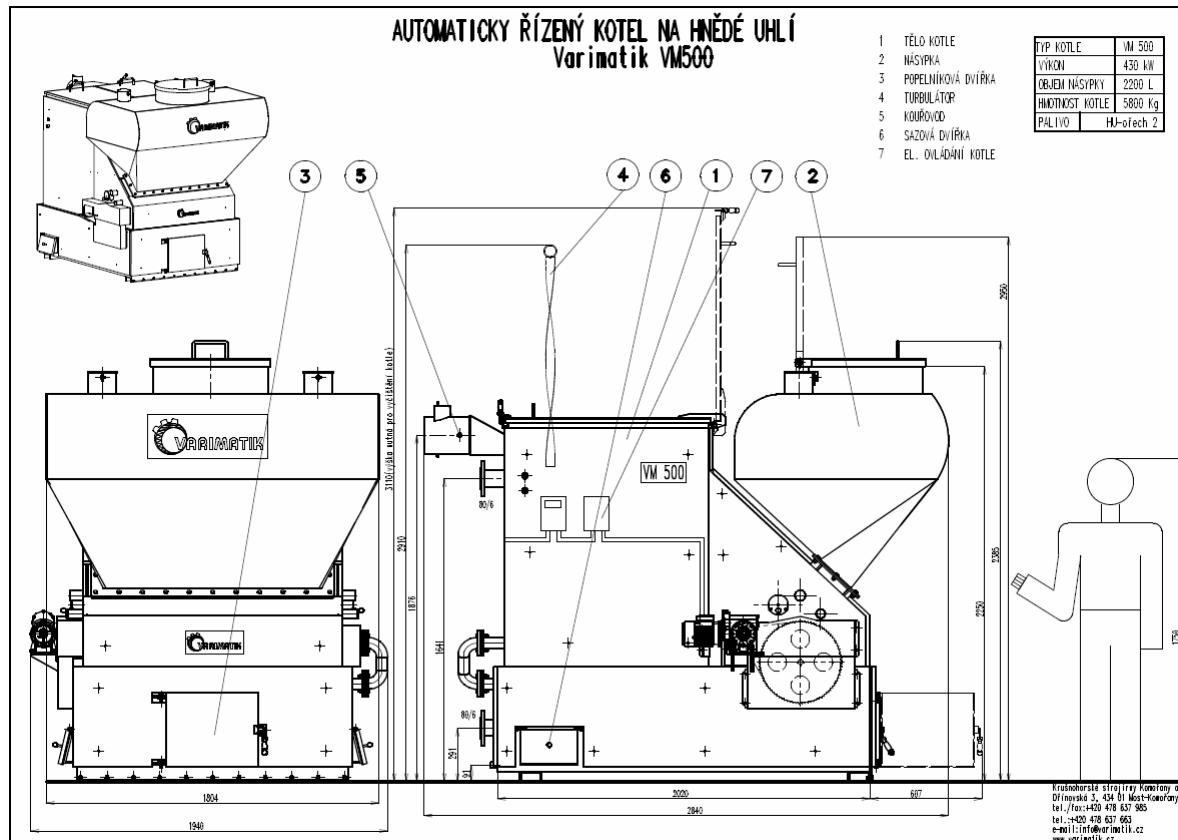
- **Technické parametry kotle Varimatik VM 500**

tab. 21, 22

Parametry a vlastnosti kotle VM 500

parametr	jednotka	hodnota
jmennovitý výkon	[kW]	430
maximální výkon	[kW]	490
jmennovitý průtok vody	[l/hod]	28100
vnější průměr kouřovodu	[mm]	200
vnější průměr příruby vody	[Js/Jt]	80/6
hmotnost samotného kotle	[kg]	3800
obsah vody v kotli	[l]	2000
hmotnost kotle celková	[kg]	5800
užitný objem násypky	[l]	1600
průměrná spotřeba paliva za hodinu při jmenovitém výkonu	[kg/hod]	130
příkon kotle (ventilátor + pohon)	[W]	4300+180
podtlak na výstupu spalín z kotle (minimální)	[Pa]	30
orientační časování roštu (krok/prodleva)	[sec]	0,7/120

rozměry	[mm]
výška s násypkou	2385
hloubka	2795
výška příruby topné vody	1656
výška příruby zpětné vody	290
šířka kotlového tělesa	1475
šířka zásobníku paliva	1780



obr.24 Schéma kotle VM 500 [11]

7.2.2 Volba špičkového kotle spalujícího zemní plyn

Špičkový kotel bude dodávat teplo během dnů, kdy klesnou denní průměrné teploty natolik, že pro pokrytí denní potřeby tepla nebude dostačovat výkon hlavního kotle. Tedy dny, kdy potřebný výkon bude vyšší než měsíční průměr, podle kterého je zvolen výkon hlavního kotle.

Stanovení výkonu kotle na ZP:

Výkon kotle je stanoven jako rozdíl maximálního tepelného výkonu, který je navržen pro nejnižší dlouhodobou teplotu $t_e = -15^\circ\text{C}$, a výkonu hlavního hnědouhelného kotle:

$$P_{ZP, \text{kotel}}^{\text{var. A}} = P_{\text{max}} - P_{HU, \text{kotel}}^{\text{var. A}} = 755 - 460 [\text{kW}]$$

$$P_{ZP, \text{kotel}}^{\text{var. A}} = 295 [\text{kW}] \quad (7 - 2)$$

Zvolený typ kotle na ZP:

Z nabízených kotlů se jeví jako nejvhodnější svým výkonem kotel, nabízený firmou Buderus. Tento kotel, typ Logano GE 515 – 295 kW, má jmenovitý výkon 295 kW. Jedná se o stacionární nízkoteplotní článkový kotel, který je určen pro spalování LTO, zemního plynu, zkapalněného plynu a bioplynu.

- **Výrobce:** Bosch Thermotechnik GmbH
Sophienstraße 30-32
Wetzlar
35576

- **Zastoupení pro ČR:** Bosch Termotechnika s.r.o., obchodní divize Buderus
Pod Višňovkou 1661/35
Praha 4
140 00

- **Popis kotle Logano GE 515 – 295 kW**

Kotle Ecostream Logano GE315, GE515 a GE615 jsou odzkoušeny podle EN 303, schváleny podle evropských směrnic a jsou opatřeny označením CE (ekologicky šetrný výrobek). Navíc jsou při výrobě uplatněny postupy podléhající zabezpečení úrovně kvality dle DIN ISO 9001 a EN 29001.

Všechny litinové kotle Ecostream jsou odlity ze speciální šedé litiny GL 180 M, která odolává korozi a vysokým teplotám. Kromě toho jsou tyto kotle vybaveny technologií ThermoStream. Právě proto jsou určeny tyto nízkoteplotní kotle pro klouzavý provoz bez minimální teploty zpátečky.

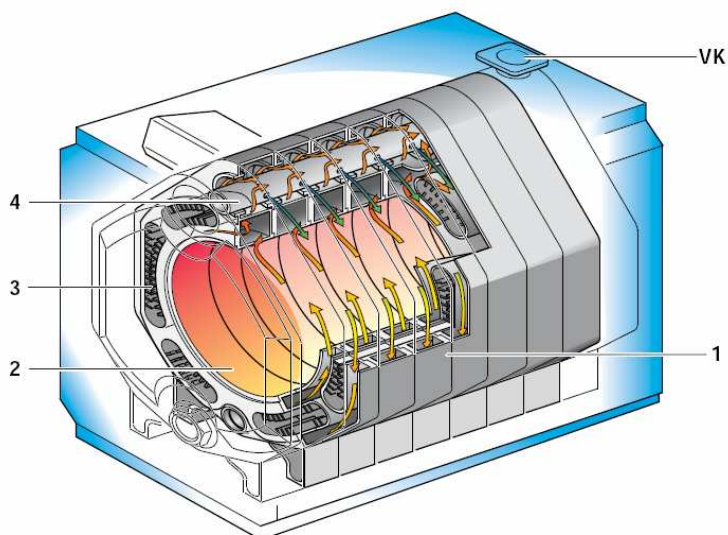
Princip technologie ThermoStream je založen na vnitřním směšování studené zpátečky a teplé výstupní vody přímo v bloku kotle. Zvýšení teploty zpátečky se odehrává v horní části kotlového bloku. Teplota zpátečky je zvýšená ještě před tím, než dojde ke kontaktu vratné vody s teplosměnnými plochami. Ke vzniku tepelného šoku je zabráněno i při náhlém vniknutí studené vratné vody.

Další dodatečná opatření pro zvýšení teploty zpátečky nebo k zajištění minimálního průtoku při specifických provozních podmínkách nejsou nutná.

Teplota povrchu teplosměnných ploch ze strany spalín leží při stacionárním provozu nad teplotou rosného bodu. Ve spalovací komoře a na dodatečných teplosměnných plochách se netvoří žádný kondenzát. Nízkoteplotní korozi kotlového bloku je tak zabráněno.

Spalovací komora a teplosměnné plochy jsou kotlovou vodou omývány samotížně, a ta kontinuálně odebírá teplo ze spalín. To má za následek vysoký zisk energie a stabilní provozní poměry a v důsledku i jednoduché hydraulické začlenění do otopné soustavy.

Díky technologii ThermoStream jsou kotle vybaveny přímými teplosměnnými plochami a tím jsou velmi kompaktní. [13]



obr.25

Technologie ThermoStream litinového kotle Logano GE 515 [13]

1 kotlový článek s vodními kanálky, 2 spalovací komora, 3 dodatečné teplosměnné plochy, 4 napájecí trubka vratné vody, VK vstup z kotle

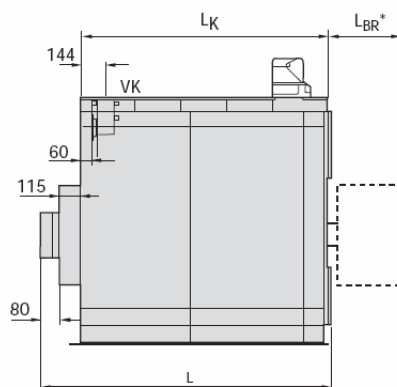
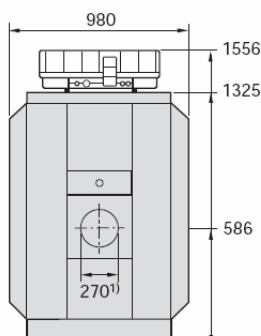
• Technické parametry kotle Logano GE 515

tab. 23, 24

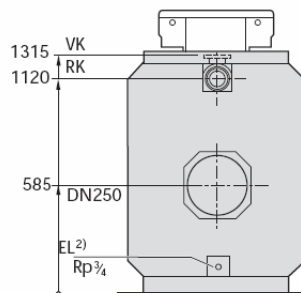
Parametry a vlastnosti kotle Logano GE 515

parametr	jednotka	hodnota
počet kotlových článků	[ks]	8
jmenovitý výkon	[kW]	295
oblast použití potřeby tepla	[kW]	241-295
tepelný výkon ohniště (hořáku)	[kW]	257,8-319
hmotnost netto	[kg]	1430
celkový objem vody	[l]	294
obsah plynu	[l]	487
teplota spalin (plný výkon)	[°C]	161-183
potřebný tah	[Pa]	0
přípustná výstupní teplota	[°C]	120
přípustný pracovní přetlak	[bar]	6

rozměry	[mm]
délka L	1750
délka L _k	1530
rozměra pro uložení kotlového bloku šířka/výška/délka L _k	835/1315/L _k
spalovací komora délka/průměr	1335/515
hloubka hořákových dvíř	142
výstup kotle, průměr VK	podle objednávky
zpátečka kotle, průměr RK	DN 100, DN 80, DN 65



*) Provedení Unit s nastaveným přetlakovým hořákem pro provoz s olejem EL a také na zemní plyn E a LL je možno získat z aktuálního katalogu a ceníku.



obr.26

Technické schéma kotle Logano GE 515 [13]

7.2.3 Výpočet spotřeby paliva

Výpočet je rozdělen na spotřebu hnědého uhlí a zemního plynu za jeden rok.

Určení spotřeby hnědého uhlí:

Při výpočtu spotřeby hnědého uhlí se vycházelo z hodnot průměrné měsíční potřeby tepla během topného období Q_i^{TO} , které jsou uvedeny v tab. 17, dále z tabulky č. 18, kde je uvedena hodnota výpočtové výhřevnosti a je brána v potaz také průměrná účinnost kotle.

• Roční potřeba tepla během topného období:

Je to součet měsíčních potřeb tepla Q_i^{TO} .

$$Q_{rok}^{TO} = \sum Q_i^{TO} = \sum Q_{1-12}^{TO}$$

$$Q_{rok}^{TO} = 5449335 [MJ / rok] \rightarrow$$

$$Q_{rok}^{TO} = 5449,34 [GJ / rok]$$

(7 – 3)

• Výpočtová výhřevnost:

$$Q_{i,vyp}^r = 17 [GJ / t]$$

- **Množství HU za rok:**

Množství hnědého uhlí je podíl roční potřeby tepla a výhřevnosti. Výsledek je navýšen ještě o ztráty (teplo nepředané teplonosnému médiu), které jsou dané tepelnou účinností kotle. Formou elektronické pošty jsem konzultoval s výrobcem, jak se mění účinnost kotle, když se snižuje výkon kotle. Bylo mi řečeno, že účinnost tohoto automaticky řízeného kotle je konstantní. Jelikož kotel pracuje v režimu jmenovitý výkon/ nulový výkon. Průměrný dodávaný tep.výkon do soustavy se odvíjí od doby sepnutí kotle z režimu pohotovost do režimu provoz toto se odvozuje dle nastavené výstupní teploty kotle (běží odtahový ventilátor a krokuje rošt v útlumu, je zastavena dodávka paliva a neběží ventilátor, tah komína není dostatečný pro intenzivní hoření na válcovém roštu). Tento problém jsem také konzultoval s vedoucím diplomové práce. Po konzultacích s výrobcem a vedoucím je stanovena účinnost kotle s ohledem na skutečnost, že tato varianta počítá s výrazným kolísáním výkonu během dne, proto byla zvolena průměrná účinnost kotle 76 %.

$$M_{u,A} = \frac{Q_{rok}^{TO}}{Q_{i,vyp}^r} \cdot [1 + (1 - \eta_A)]$$

$$M_{u,A} = \frac{5449,34}{17} \cdot 1,24 \quad (7 - 4)$$

$$M_{u,A} = 397,5[t / rok]$$

Určení spotřeby zemního plynu:

Spotřeba zemního plynu je určena podle četnosti průměrné denní teploty a dále podle toho, že pokud nestoupne potřebný denní výkon nad 460 kW, vytápí se výhradně uhlím.

Výkon hlavního zdroje je 460 kW. Tomuto výkonu, podle diagramu ročního trvání potřeby tepla (obr. 19 a tab. 11), odpovídá venkovní teplota mezi 0 a -1 °C. Potřeba dodávat výkon špičkovým kotlem na ZP tedy nastává při teplotě -1 °C a nižších. Z hodnot poskytnutých ČHMÚ a tabulky č. 11 je sestavena tabulka č. 25, ve které je zaznamenán počet dní, kdy se venkovní teploty pohybují mezi -15 a -1 °C a také výkon P_{max}^i pro pokrytí potřeby tepla pro danou teplotu.

tab. 25 Počet dní v roce podle venkovní teploty s přiřazeným výkonem

Teplota	počet dní v roce2007	počet dní v roce2008	počet dní v roce2009	počet dní v průměrné m roce	max. výkon podle teploty
				P_{rok}^i	P_{max}^i
[°C]	[dny]	[dny]	[dny]	[dny]	[kW]
-15	0	0	0	0,0	755
-14	0	0	1	0,3	733
-13	0	0	1	0,3	712
-12	0	0	1	0,3	692
-11	0	0	1	0,3	671
-10	0	0	2	0,7	651
-9	0	0	3	1,0	630
-8	1	2	2	1,7	610
-7	2	3	2	2,3	589
-6	9	1	3	4,3	569
-5	6	4	8	6,0	548
-4	2	4	4	3,3	528
-3	4	4	7	5,0	507
-2	4	10	6	6,7	487
-1	3	6	10	6,3	466

Dále jsou vypočítány výkony, které má zajistit kotel na zemní plyn.

$$P_{ZP}^i = P_{\max}^i - 460[kW] \quad (7-5)$$

Př.: při venkovní teplotě -14 °C

$$P_{ZP}^{-14} = P_{\max}^{-14} - 460$$

$$P_{ZP}^{-14} = 273[kW]$$

tab. 25 Výkon P_{ZP}^i dodávaný kotlem na zemní plyn

Teplota	max.výkon pro vytápění	výkon pro ohřev TUV	max. celkový výkon	špičkový výkon pokrytý ZP
[°C]	[kW]	[kW]	[kW]	P_{ZP}^i [kW]
-15	719	36	755	295
-14	697	36	733	273
-13	676	36	712	252
-12	656	36	692	232
-11	635	36	671	211
-10	615	36	651	191
-9	594	36	630	170
-8	574	36	610	150
-7	553	36	589	129
-6	533	36	569	109
-5	512	36	548	88
-4	492	36	528	68
-3	471	36	507	47
-2	451	36	487	27
-1	430	36	466	6
0	410	36	446	-
1	389	36	425	-
2	369	36	405	-
3	348	36	384	-
4	328	36	364	-
5	307	36	343	-
6	287	36	323	-
7	266	36	302	-
8	246	36	282	-
9	226	36	262	-
10	205	36	241	-
11	184	36	220	-
12	164	36	200	-
13	144	36	180	-

Potom byla sestavena tabulka denního průběhu výkonu $P_{ZP,i}^h$. Maximální dodávaný výkon podle venkovní teploty je vynásobený poměrným topným výkonem. Tím byl získán denní průběh potřeby výkonu, od kterého se odečetl výkon hlavního HU kotle, tedy 460 kW.

$$P_{ZP,i}^h = \left(P_{\max}^i \cdot \frac{P_h}{P_{\max}} \right) - 460[kW] \quad (7-6)$$

Př.: teplota -12 °C, 7 hodin

$$P_{ZP,-12}^7 = \left(P_{\max}^{-12} \cdot \frac{P_7}{P_{\max}} \right) - 460$$

$$P_{ZP,-12}^7 = 232[kW]$$

tab. 26 *Denní špičkový topný výkon pokrývaný ZP v hodinových intervalech*

teplota	[°C]	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
hodina	poměrný topný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon	dodávaný výkon
	P_i/P_{max}	$P_{h,ZP-15}^{h_{ZP-15}}$	$P_{h,ZP-14}^{h_{ZP-14}}$	$P_{h,ZP-13}^{h_{ZP-13}}$	$P_{h,ZP-12}^{h_{ZP-12}}$	$P_{h,ZP-11}^{h_{ZP-11}}$	$P_{h,ZP-10}^{h_{ZP-10}}$	$P_{h,ZP-9}^{h_{ZP-9}}$	$P_{h,ZP-8}^{h_{ZP-8}}$	$P_{h,ZP-7}^{h_{ZP-7}}$	$P_{h,ZP-6}^{h_{ZP-6}}$	$P_{h,ZP-5}^{h_{ZP-5}}$	$P_{h,ZP-4}^{h_{ZP-4}}$	$P_{h,ZP-3}^{h_{ZP-3}}$	$P_{h,ZP-2}^{h_{ZP-2}}$	$P_{h,ZP-1}^{h_{ZP-1}}$
	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
1	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,730	91,15	75,09	59,76	45,16	29,83	15,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1,000	295	273	252	232	211	191	170	150	129	109	88	68	47	27	6
8	0,993	289,715	267,869	247,016	227,156	206,303	186,443	165,59	145,73	124,877	105,017	84,164	64,304	43,451	23,591	2,738
9	0,986	284,43	262,738	242,032	222,312	201,606	181,886	161,18	141,46	120,754	101,034	80,328	60,608	39,902	20,182	0
10	0,979	279,145	257,607	237,048	217,468	196,909	177,329	156,77	137,19	116,631	97,051	76,492	56,912	36,353	16,773	0
11	0,972	273,86	252,476	232,064	212,624	192,212	172,772	152,36	132,92	112,508	93,068	72,656	53,216	32,804	13,364	0
12	0,965	268,575	247,345	227,08	207,78	187,515	168,215	147,95	128,65	108,385	89,085	68,82	49,52	29,255	9,955	0
13	0,957	262,535	241,481	221,384	202,244	182,147	163,007	142,91	123,77	103,673	84,533	64,436	45,296	25,199	6,059	0
14	0,950	257,25	236,35	216,4	197,4	177,45	158,45	138,5	119,5	99,55	80,55	60,6	41,6	21,65	2,65	0
15	0,943	251,965	231,219	211,416	192,556	172,753	153,893	134,09	115,23	95,427	76,567	56,764	37,904	18,101	0	0
16	0,936	246,68	226,088	206,432	187,712	168,056	149,336	129,68	110,96	91,304	72,584	52,928	34,208	14,552	0	0
17	0,929	241,395	220,957	201,448	182,868	163,359	144,779	125,27	106,69	87,181	68,601	49,092	30,512	11,003	0	0
18	0,922	236,11	215,826	196,464	178,024	158,662	140,222	120,86	102,42	83,058	64,618	45,256	26,816	7,454	0	0
19	0,915	230,825	210,695	191,48	173,18	153,965	135,665	116,45	98,15	78,935	60,635	41,42	23,12	3,905	0	0
20	0,907	224,785	204,831	185,784	167,644	148,597	130,457	111,41	93,27	74,223	56,083	37,036	18,896	0	0	0
21	0,900	219,5	199,7	180,8	162,8	143,9	125,9	107	89	70,1	52,1	33,2	15,2	0	0	0
22	0,550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dále jsou pro potřeby tohoto předběžného návrhu vypočítané, pomocí aritmetického průměru, střední denní výkony podle venkovní teploty.

tab. 27 *Průměrné denní špičkové výkony podle venkovní teploty*

teplota	[°C]	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon	topný výkon
	$P_{-15,prum}$	$P_{-14,prum}$	$P_{-13,prum}$	$P_{-12,prum}$	$P_{-11,prum}$	$P_{-10,prum}$	$P_{-9,prum}$	$P_{-8,prum}$	$P_{-7,prum}$	$P_{-6,prum}$	$P_{-5,prum}$	$P_{-4,prum}$	$P_{-3,prum}$	$P_{-2,prum}$	$P_{-1,prum}$	
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
	247,1	226,5	206,8	188,1	168,4	149,7	138,7	119,7	99,7	80,7	60,7	41,7	25,4	14,9	4,4	

Tyto denní špičkové výkony byla přepočítány na denní potřebu tepla a vynásobené počtem dní v roce, kdy je tento výkon žádaný.

$$Q_{i,prum} = P_{i,prum} \cdot 24 \cdot 3,6 [MJ] \quad (7 - 7)$$

Př.: teplota -15 °C

$$Q_{-15,prum} = P_{-15,prum} \cdot 24 \cdot 3,6 = 247,1 \cdot 24 \cdot 3,6$$

$$Q_{-15,prum} = 21345,8 [MJ]$$

tab. 28 *Denní potřeba tepla krytá špičkovým zdrojem*

teplota	[°C]	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla	potřeba tepla
	$Q_{-15,prum}$	$Q_{-14,prum}$	$Q_{-13,prum}$	$Q_{-12,prum}$	$Q_{-11,prum}$	$Q_{-10,prum}$	$Q_{-9,prum}$	$Q_{-8,prum}$	$Q_{-7,prum}$	$Q_{-6,prum}$	$Q_{-5,prum}$	$Q_{-4,prum}$	$Q_{-3,prum}$	$Q_{-2,prum}$	$Q_{-1,prum}$	
	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[MJ]
	21345,8	19565,7	17866,5	16248,2	14549,0	12930,8	11980,9	10338,9	8614,7	6972,6	5248,5	3606,4	2197,4	1291,4	377,5	

$$Q_{i,prum}^{celk} = Q_{i,prum} \cdot p_{rok}^i [MJ] \quad (7 - 8)$$

Př.: teplota -9 °C, 1 den

$$Q_{-9,prum}^{celk} = Q_{-9,prum} \cdot p_{rok}^{-9} = 11980,9 \cdot 1$$

$$Q_{-9,prum}^{celk} = 11980,9 [MJ]$$

tab. 29 Celková špičková potřeba tepla podle venkovní teploty

Teplota	počet dní v průměrné m roce	denní potřeba tepla ze ZP podle teploty	celkové teplo ze ZP podle teploty a počtu dnů
	p_{rok}^i	$Q_{i,prum}$	$Q_{i,prum}^{celk}$
[°C]	[dny]	[MJ]	[MJ]
-15	0,0	21345,8	0,0
-14	0,3	19565,7	6521,9
-13	0,3	17866,5	5955,5
-12	0,3	16248,2	5416,1
-11	0,3	14549,0	4849,7
-10	0,7	12930,8	8620,5
-9	1,0	11980,9	11980,9
-8	1,7	10338,9	17231,4
-7	2,3	8614,7	20100,9
-6	4,3	6972,6	30214,7
-5	6,0	5248,5	31490,8
-4	3,3	3606,4	12021,4
-3	5,0	2197,4	10987,1
-2	6,7	1291,4	8609,3
-1	6,3	377,5	2390,7

- Roční potřeba tepla během topného období:**

Je to součet tepla poskytnutého špičkovým kotlem $Q_{i,prum}^{celk}$ za rok.

$$Q_{rok}^{TO,ZP} = \sum Q_{i,prum}^{celk}$$

$$Q_{rok}^{TO,ZP} = 176390,9 [MJ / rok] \rightarrow$$

$$Q_{rok}^{TO,ZP} = 176,4 [GJ / rok]$$

(7 – 9)

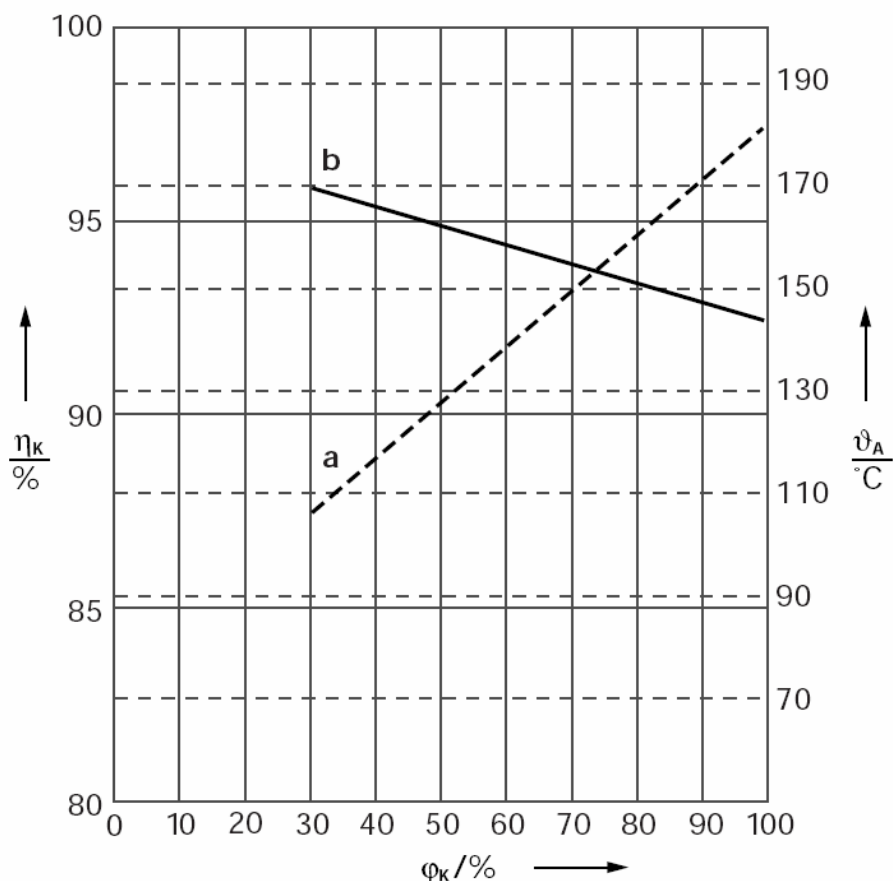
- Výpočtová výhřevnost:**

$$Q_{i,vyp}^{r,ZP} = 34,2 [MJ / m^3]$$

- Množství ZP za rok:**

Množství zemního plynu je podíl roční potřeby tepla a výhřevnosti. Výsledek je navýšen ještě o ztráty (teplo nepředané teplotnosnému médiu), které jsou dané tepelnou účinností kotle. Účinnost kotle Logano GE 515 – 295 kW udává graf na obrázku č. 27. Podle výkonového zatížení se účinnost pohybuje v rozmezí 92 až 96 %.

Účinnost volím jako střední hodnotu rovnu 94 %.



obr.27 Teplota spalin a účinnost kotle Logano GE 515:
a teplota spalin, b účinnost kotle, θ_A teplota spalin, η_K účinnost kotle, ϕ_K zatížení kotle [13]

$$M_{ZP} = \frac{Q_{rok}^{TO,ZP}}{Q_{i,vyp}^{r,ZP}} \cdot [1 + (1 - \eta_{ZP})]$$

$$M_{ZP} = \frac{176390,9}{1734,2} \cdot 1,06 \quad (7 - 10)$$

$$\underline{\underline{M_{ZP} = 5467,1 [m^3 / rok]}}$$

7.3 Varianta B

Druhá varianta řeší možnost rekonstrukce výtopny podobným způsobem, s tím rozdílem, že spolu s kotli bude v kotelně zbudována teplovodní akumulční nádrž. Akumulátor umožní instalovat celkově menší kotel, který bude pracovat s lepší účinností než hlavní kotel z varianty A, protože kotel (varianta B) bude pracovat delší dobu blíže jmenovitému výkonu. Výkon kotle nebude přes den kolísat, bude konstantní, díky kompenzaci pomocí akumulátoru. Jako hlavní centrální zdroj bude opět použit hnědouhelný kotel. Tento kotel je vybrán z kotlů nabízených tuzemskými výrobci nebo dodavateli, tak aby byl zajištěn dostupný servis a údržba. Je zvolen takový typ, který bude svým výkonem odpovídat požadavkům na dodané teplo. Jako špičkový zdroj je ve variantě B zvolen stejný kotel spalující zemní plyn jako ve variantě A.

Pro určení typu kotle, který bude instalován, je nutné nejdříve stanovit nabíjecí a vybíjecí výkon akumulátoru, jeho tepelnou kapacitu a objem. Výpočet je proveden v kapitole 7.3.1.

7.3.1 Výpočet výkonu, tepelné kapacity a objemu akumulátoru

Pro krytí kolísavého výkonu respektive špiček odběru lze využít kromě kotlů také vnějších zařízení, ve kterých se teplo akumuluje – akumulátory.

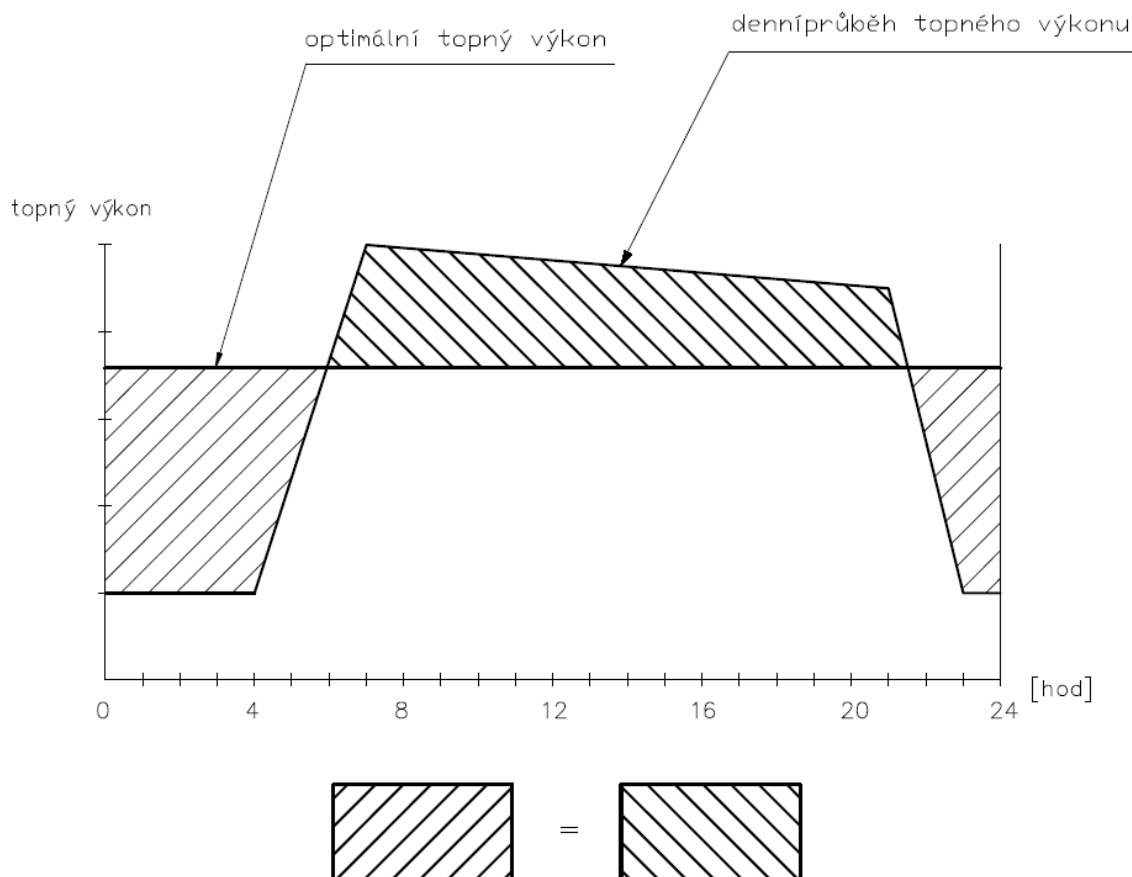
Význam tepelných akumulátorů lze shrnout následovně:

- Umožňují odříznutí (vykrytí špiček výkonu při zvýšení odběru tepla → umožňují instalaci kotlů o nižším výkonu – z čehož plynou investiční úspory
- Dovolují naopak projíždění minima odběru tepla ukládáním přebytku výkonu do akumulátoru; jinak by při odběru menším než je přípustný minimální výkon kotle bylo nutno kotel odstavit
- Umožňují stabilizaci výkonu kotle, což má tyto příznivé důsledky:
 - zvýšení životnosti, klesají teplotní pnutí při nestacionárních režimech
 - snížení emise škodlivin, které dosahují maximálních hodnot při přechodových jevech, kdy je obtížné udržet optimální spalovací režim
 - snížení spotřeby paliva v důsledku vyšší ekonomie spalování při ustálených režimech [4]

Stanovení průběhu výkonu při použití akumulátoru:

Podle tabulky č. 30, která vychází z tabulky č. 16, ale platí už jen pro topné období (hlavní kotel bude v letním období odstaven), byly stanoveny průběhy nabíjení a vybíjení akumulátoru. Výkon P, Ak_i^h je rozdíl požadovaného výkonu pro jednotlivé hodiny P_i^h a topného optimálního výkonu pro daný měsíc $P_{top,i}^{opt}$, tak aby byla optimálně využita kapacita akumulátoru. Výkon $P_{top,i}^{opt}$ je výsledkem iteračního výpočtu, kdy hledáme takovou hodnotu výkonu, aby se teplo získané nabíjením akumulátoru rovnalo teplu dodávanému do sítě při vybíjení. Jinými slovy hledáme takový výkon, který dostatečně nabije akumulátor při přebytku tepla, tak aby teplo z akumulátoru bylo schopné pokrýt špičku, kdy je potřeba dodat do sítě více tepla než dodá kotel. Názornější je vysvětlující obrázek. Jedná se o to, aby se vyšrafované plochy rovnaly, tzn., že čára, která dělí obě plochy je optimální topný výkon při použití akumulátoru.

$$P, Ak_i^h = (P_i^h - P_{top,i}^{opt}) \cdot (-1) [kW] \quad (7 - 11)$$



obr.28 Denní průběh topného výkonu s přímkou optimálního topného výkonu

tab. 30 Topné výkony během dne pro topné období

hodina	měsíc											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	P_1^h [kW]	P_2^h [kW]	P_3^h [kW]	P_4^h [kW]	P_5^h [kW]	P_6^h [kW]	P_7^h [kW]	P_8^h [kW]	P_9^h [kW]	P_{10}^h [kW]	P_{11}^h [kW]	P_{12}^h [kW]
1	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8
2	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8
3	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8
4	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8
5	212,1	201,2	178,4	118,4	97,7	0,0	0,0	91,8	102,8	139,6	175,1	215,7
6	329,4	312,5	277,2	183,9	151,8	0,0	0,0	142,6	159,7	216,9	272,0	335,1
7	451,2	428,1	379,7	251,9	207,9	0,0	0,0	195,3	218,7	297,1	372,6	459,0
8	448,0	425,1	377,0	250,1	206,4	0,0	0,0	194,0	217,2	295,0	370,0	455,8
9	444,9	422,1	374,4	248,4	205,0	0,0	0,0	192,6	215,7	292,9	367,4	452,6
10	441,7	419,1	371,7	246,6	203,5	0,0	0,0	191,2	214,1	290,8	364,8	449,4
11	438,6	416,1	369,0	244,8	202,1	0,0	0,0	189,9	212,6	288,7	362,2	446,1
12	435,4	413,1	366,4	243,1	200,6	0,0	0,0	188,5	211,1	286,7	359,6	442,9
13	431,8	409,7	363,4	241,1	199,0	0,0	0,0	186,9	209,3	284,3	356,6	439,3
14	428,6	406,7	360,7	239,3	197,5	0,0	0,0	185,6	207,8	282,2	354,0	436,1
15	425,5	403,7	358,0	237,5	196,0	0,0	0,0	184,2	206,3	280,1	351,4	432,8
16	422,3	400,7	355,4	235,8	194,6	0,0	0,0	182,8	204,7	278,1	348,8	429,6
17	419,2	397,7	352,7	234,0	193,1	0,0	0,0	181,5	203,2	276,0	346,1	426,4
18	416,0	394,7	350,1	232,3	191,7	0,0	0,0	180,1	201,7	273,9	343,5	423,2
19	412,8	391,7	347,4	230,5	190,2	0,0	0,0	178,7	200,1	271,8	340,9	420,0
20	409,2	388,3	344,4	228,5	188,6	0,0	0,0	177,2	198,4	269,4	337,9	416,3
21	406,1	385,3	341,7	226,7	187,1	0,0	0,0	175,8	196,9	267,4	335,3	413,1
22	248,2	235,5	208,8	138,5	114,3	0,0	0,0	107,4	120,3	163,4	204,9	252,5
23	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8
24	90,2	85,6	75,9	50,4	41,6	0,0	0,0	39,1	43,7	59,4	74,5	91,8

Př.: měsíc únor, 10 hodin

$$P, Ak_2^{10} = (P_2^{10} - P_{top,2}^{opt}) \cdot (-1) = (419,1 - 306,9) \cdot (-1)$$

$$P, Ak_2^{10} = -112,2[kW]$$

Jestliže $P, Ak_i^h > 0$, potom jde o nabíjení akumulátoru $\rightarrow P, Ak_i^h$ je v tomto případě nabíjecí výkon.

Jestliže $P, Ak_i^h < 0$, potom jde o vybíjení akumulátoru $\rightarrow P, Ak_i^h$ je v tomto případě vybíjecí výkon.

tab. 31 Nabíjecí a vybíjecí výkony akumulátoru

hodina	měsíc											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]	P, Ak_i^h [kW]
1	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
2	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
3	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
4	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
5	111,4	105,7	93,7	62,2	51,3	0,0	0,0	48,2	54,0	73,3	92,0	113,3
6	-5,9	-5,6	-5,0	-3,3	-2,7	0,0	0,0	-2,6	-2,9	-3,9	-4,9	-6,0
7	-127,8	-121,2	-107,5	-71,3	-58,9	0,0	0,0	-55,3	-61,9	-84,1	-105,5	-130,0
8	-124,6	-118,2	-104,9	-69,6	-57,4	0,0	0,0	-53,9	-60,4	-82,0	-102,9	-126,8
9	-121,4	-115,2	-102,2	-67,8	-56,0	0,0	0,0	-52,6	-58,9	-80,0	-100,3	-123,5
10	-118,3	-112,2	-99,5	-66,0	-54,5	0,0	0,0	-51,2	-57,3	-77,9	-97,7	-120,3
11	-115,1	-109,2	-96,9	-64,3	-53,0	0,0	0,0	-49,8	-55,8	-75,8	-95,1	-117,1
12	-112,0	-106,2	-94,2	-62,5	-51,6	0,0	0,0	-48,5	-54,3	-73,7	-92,5	-113,9
13	-108,4	-102,8	-91,2	-60,5	-49,9	0,0	0,0	-46,9	-52,5	-71,3	-89,5	-110,2
14	-105,2	-99,8	-88,5	-58,7	-48,5	0,0	0,0	-45,5	-51,0	-69,3	-86,9	-107,0
15	-102,0	-96,8	-85,9	-57,0	-47,0	0,0	0,0	-44,2	-49,5	-67,2	-84,3	-103,8
16	-98,9	-93,8	-83,2	-55,2	-45,6	0,0	0,0	-42,8	-47,9	-65,1	-81,7	-100,6
17	-95,7	-90,8	-80,6	-53,4	-44,1	0,0	0,0	-41,4	-46,4	-63,0	-79,1	-97,4
18	-92,6	-87,8	-77,9	-51,7	-42,7	0,0	0,0	-40,1	-44,9	-60,9	-76,4	-94,2
19	-89,4	-84,8	-75,2	-49,9	-41,2	0,0	0,0	-38,7	-43,3	-58,9	-73,8	-91,0
20	-85,8	-81,4	-72,2	-47,9	-39,5	0,0	0,0	-37,1	-41,6	-56,5	-70,9	-87,3
21	-82,6	-78,4	-69,5	-46,1	-38,1	0,0	0,0	-35,8	-40,1	-54,4	-68,2	-84,1
22	75,3	71,4	63,3	42,0	34,7	0,0	0,0	32,6	36,5	49,6	62,2	76,6
23	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
24	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2

$P_{AKUM,i}^{max,nab}$	[kW]	233,2	221,3	196,2	130,2	107,4	0,0	0,0	100,9	113,0	153,5	192,6	237,2
$P_{AKUM,i}^{max,vyb}$	[kW]	127,8	121,2	107,5	71,3	58,9	0,0	0,0	55,3	61,9	84,1	105,5	130,0
$P_{top,i}^{opt}$	[kW]	323,4	306,9	272,2	180,6	149,0	0,0	0,0	140,0	156,8	212,9	267,1	329,0

$P_{AKUM,i}^{max,nab} \rightarrow$ maximální nabíjecí výkon akumulátoru

$P_{AKUM,i}^{max,vyb} \rightarrow$ maximální vybíjecí výkon akumulátoru

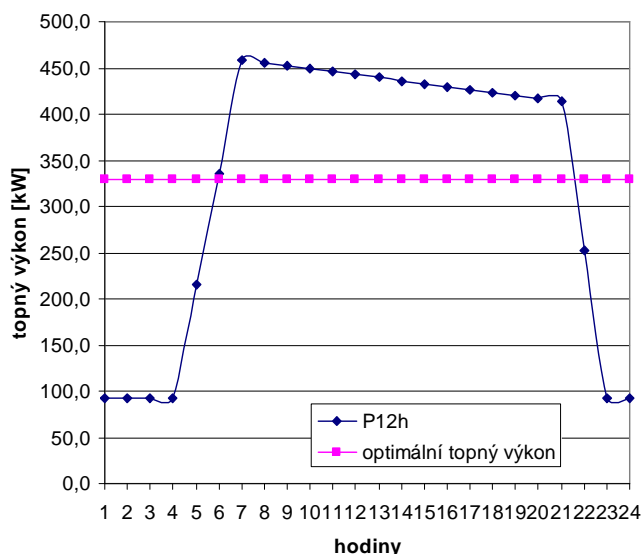
$P_{top,i}^{opt} \rightarrow$ optimální topný výkon při použití akumulární nádrže

V tabulce č. 22 jsou zvýrazněny nejvyšší maximální hodnoty výkonů. Tyto jsou dosahovány v měsíci prosinci:

$$P_{AKUM,12}^{max,nab} = 273,2[kW]$$

$$P_{AKUM,12}^{max,vyb} = 130[kW]$$

$$P_{top,12}^{opt} = 329[kW]$$



obr.29

Průběh výkonů během dne v prosinci

Stanovení tepelné kapacity akumulátoru:

Pro výpočet tepelné kapacity akumulátoru je použita tabulka č. 30. Hodnoty výkonů jsou přepočítané na hodinové potřeby tepla.

$$Q_i^h = P_i^h \cdot 3,6 [MJ] \quad (7 - 12)$$

Př.: měsíc listopad, 6 hodin

$$Q_{11}^6 = P_{11}^6 \cdot 3,6 = 272 \cdot 3,6$$

$$Q_{11}^6 = 979,2 [MJ]$$

tab. 32 Hodinové potřeby tepla během dne

hodina	měsíc											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	Q_1^h [MJ]	Q_2^h [MJ]	Q_3^h [MJ]	Q_4^h [MJ]	Q_5^h [MJ]	Q_6^h [MJ]	Q_7^h [MJ]	Q_8^h [MJ]	Q_9^h [MJ]	Q_{10}^h [MJ]	Q_{11}^h [MJ]	Q_{12}^h [MJ]
1	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5
2	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5
3	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5
4	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5
5	763,4	724,4	642,4	426,2	351,8	0,0	0,0	330,5	370,1	502,6	630,4	776,6
6	1185,8	1125,1	997,8	662,0	546,3	0,0	0,0	513,3	574,8	780,7	979,2	1206,3
7	1624,3	1541,2	1366,8	906,8	748,4	0,0	0,0	703,2	787,4	1069,4	1341,4	1652,4
8	1612,9	1530,4	1357,3	900,5	743,2	0,0	0,0	698,2	781,9	1061,9	1332,0	1640,8
9	1601,6	1519,6	1347,7	894,1	737,9	0,0	0,0	693,3	776,4	1054,5	1322,6	1629,3
10	1590,2	1508,8	1338,1	887,8	732,7	0,0	0,0	688,4	770,9	1047,0	1313,2	1617,7
11	1578,8	1498,0	1328,6	881,4	727,5	0,0	0,0	683,5	765,4	1039,5	1303,8	1606,1
12	1567,5	1487,2	1319,0	875,1	722,2	0,0	0,0	678,6	759,9	1032,0	1294,4	1594,6
13	1554,5	1474,9	1308,1	867,8	716,2	0,0	0,0	672,9	753,6	1023,4	1283,7	1581,3
14	1543,1	1464,1	1298,5	861,5	711,0	0,0	0,0	668,0	748,1	1016,0	1274,3	1569,8
15	1531,7	1453,3	1288,9	855,2	705,8	0,0	0,0	663,1	742,6	1008,5	1264,9	1558,2
16	1520,4	1442,5	1279,4	848,8	700,5	0,0	0,0	658,2	737,0	1001,0	1255,5	1546,6
17	1509,0	1431,7	1269,8	842,5	695,3	0,0	0,0	653,2	731,5	993,5	1246,1	1535,1
18	1497,6	1421,0	1260,2	836,1	690,0	0,0	0,0	648,3	726,0	986,0	1236,7	1523,5
19	1486,3	1410,2	1250,7	829,8	684,8	0,0	0,0	643,4	720,5	978,5	1227,3	1511,9
20	1473,3	1397,8	1239,7	822,5	678,8	0,0	0,0	637,8	714,2	970,0	1216,6	1498,7
21	1461,9	1387,1	1230,2	816,2	673,6	0,0	0,0	632,8	708,7	962,5	1207,2	1487,2
22	893,4	847,6	751,8	498,8	411,6	0,0	0,0	386,7	433,1	588,2	737,7	908,8
23	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5
24	324,9	308,2	273,4	181,4	149,7	0,0	0,0	140,6	157,5	213,9	268,3	330,5

Další postup výpočtu je shodný jako při určování nabíjecích a vybíjecích výkonů, s tím rozdílem, že v tomto případě počítáme s hodinovými množstvími tepla.

$$Q, Ak_i^h = Q_i^h - Q_{top,i}^{str} [MJ] \quad (7 - 13)$$

Př.: měsíc únor, 10 hodin

$$Q, Ak_2^{10} = Q_2^{10} - Q_{top,2}^{str} = 1508,8 - 1104$$

$$Q, Ak_2^{10} = 404 [MJ]$$

Jestliže $Q, Ak_i^h > 0$, potom jde o teplo dodávané akumulátorem do systému.

Jestliže $Q, Ak_i^h < 0$, potom jde o teplo dodané kotlem, které akumulátor pojme.

Součet tepel pojmutých akumulátorem se musí rovnat teplu, které akumulátor dodá do systému během denní špičky.

tab. 33 Tepla dodaná a získaná z akumulátoru během dne

hodina	měsíc											
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	$Q_{Ak_1}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_2}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_3}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_4}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_5}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_6}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_7}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_8}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_9}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_{10}}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_{11}}^h$ [MJ]	$Q_{Ak_{12}}^h$ [MJ]
1	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
2	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
3	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
4	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
5	-400,9	-380,4	-337,4	-223,8	-184,7	0,0	0,0	-173,6	-194,4	-264,0	-331,1	-407,9
6	21,4	20,3	18,0	11,9	9,9	0,0	0,0	9,3	10,4	14,1	17,7	21,8
7	460,0	436,4	387,0	256,8	211,9	0,0	0,0	199,1	223,0	302,8	379,8	467,9
8	448,6	425,6	377,5	250,4	206,7	0,0	0,0	194,2	217,5	295,3	370,4	456,3
9	437,2	414,8	367,9	244,1	201,4	0,0	0,0	189,3	212,0	287,9	361,0	444,8
10	425,8	404,0	358,3	237,7	196,2	0,0	0,0	184,3	206,4	280,4	351,7	433,2
11	414,5	393,3	348,8	231,4	191,0	0,0	0,0	179,4	200,9	272,9	342,3	421,6
12	403,1	382,5	339,2	225,0	185,7	0,0	0,0	174,5	195,4	265,4	332,9	410,1
13	390,1	370,1	328,3	217,8	179,7	0,0	0,0	168,9	189,1	256,8	322,1	396,9
14	378,7	359,4	318,7	211,4	174,5	0,0	0,0	164,0	183,6	249,4	312,8	385,3
15	367,4	348,6	309,1	205,1	169,3	0,0	0,0	159,0	178,1	241,9	303,4	373,7
16	356,0	337,8	299,6	198,7	164,0	0,0	0,0	154,1	172,6	234,4	294,0	362,2
17	344,6	327,0	290,0	192,4	158,8	0,0	0,0	149,2	167,1	226,9	284,6	350,6
18	333,3	316,2	280,4	186,1	153,5	0,0	0,0	144,3	161,6	219,4	275,2	339,0
19	321,9	305,4	270,9	179,7	148,3	0,0	0,0	139,3	156,0	211,9	265,8	327,5
20	308,9	293,1	259,9	172,5	142,3	0,0	0,0	133,7	149,7	203,4	255,1	314,2
21	297,5	282,3	250,4	166,1	137,1	0,0	0,0	128,8	144,2	195,9	245,7	302,7
22	-271,0	-257,1	-228,0	-151,3	-124,9	0,0	0,0	-117,3	-131,4	-178,4	-223,8	-275,7
23	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
24	-839,5	-796,5	-706,4	-468,7	-386,8	0,0	0,0	-363,4	-407,0	-552,7	-693,3	-854,0
Σ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$Q_{stř}^{stř}$	1164,4	1104,8	979,8	650,1	536,5	0,0	0,0	504,0	564,5	766,6	961,5	1184,5

Stanovení maximální tepelné kapacity akumulátoru:

Z tabulky č.24 je zřejmé, že nejvyšší potřeba tepla je v prosinci, proto je maximální tepelná kapacita q^{AK} počítána podle tohoto měsíce.

Platí: $q^{AK} = \Sigma \text{ tepel dodaných z akumulátoru} = |\Sigma \text{ tepel pojmutých akumulátorem}|$ [MJ]

$$q^{AK} = \sum Q, AK_{12}^{h,dod} = \left| \sum Q, Ak_{12}^{h,poj} \right|$$

$$q^{AK} = 5807,6 = |-5807,6| \quad (7 - 14)$$

$$\underline{\underline{q^{AK} = 5807,6[MJ]}}$$

Výpočet ideálního objemu akumulátoru:

Stanovení objemu je vypočítáno z max. tepelné kapacity q^{AK} a údajů uvedených v tab. 34. Tyto hodnoty jsou pro atmosférický tlak, jelikož se počítá s použitím beztlakového akumulátoru. Důvodem jsou nižší investiční náklady oproti např. tlakovému akumulátoru.

tab. 34 Hodnoty entalpií a hustot pro dané teploty

t_1	[°C]	90
t_2	[°C]	60
i_1	[kJ/kg]	376,992
i_2	[kJ/kg]	251,223
ρ_1	[kg/m ³]	961,54
ρ_2	[kg/m ³]	980,39
$\rho_{stř}$	[kg/m ³]	970,965

$$q^{AK} = V^{AK} \cdot \rho_{stř} \cdot (i_1 - i_2) \rightarrow V^{AK} = \frac{q^{AK}}{\rho_{stř} \cdot (i_1 - i_2)} \quad (7 - 15)$$

$$V^{AK} = \frac{5807,6 \cdot 10^3}{970,9 \cdot (376,9 - 251,2)}$$

$$\underline{\underline{V^{AK} = 47,6 [m^3]}}$$

Koeficient využití akumulární kapacity:

- podle literatury [5]

Vypočtený akumulární objem nelze využít v plné míře z následujících příčin:

- Tepelné ztráty do okolí
- Následkem vytvoření přechodové teplotní vrstvy při směšování horké a chladnější vody při vybíjení je nutno proces ukončit než v ideálním případě bez přechodové vrstvy
- Vytvářením přechodové teplotní vrstvy při míšení není v konečné fázi nabíjení prostor akumulátoru naplněn vodou o teplotě $t_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, ale jen o teplotě nižší
- Ztráta vlivem konstrukčního řešení vstupu a výstupu akumulátoru

Jedná se o předběžný návrh, proto jsou uvažovány tyto ztrátové koeficienty:

Součinitel tepelných ztrát do okolí: $\xi_{ok} = 0,0055$

Součinitel ztráty mezní vrstvou: $k_{mv} = 0,933$

Souč. ztráty vlivem míšení teplotní vrstvy v konečné fázi nabíjení: $k_n = 0,941$

Souč. ztráty vlivem konstrukčního řešení vstupu a výstupu: $k_v = 0,9637$

$$k_c = k_{mv} \cdot k_n \cdot k_v = 0,933 \cdot 0,941 \cdot 0,9637$$

$$k_c = 0,846 \quad (7 - 16)$$

Skutečný objem akumulátoru:

Pro tento výpočet se berou v úvahu výše uvedené ztráty. Tři ztráty jsou zahrnuty do součinitele využití akumulární kapacity k_c , tento nevyjadřuje energetické ztráty, ale zmenšení kapacity akumulární nádoby. Ztráty sáláním do okolí se vyjádří zvlášť.

$$V_{skut}^{AK} = V^{AK} \cdot [(1 - k_c) + 1] + V^{AK} \cdot \xi_{ok} = 47,6 \cdot [(1 - 0,846) + 1] + 47,6 \cdot 0,0055$$

$$\underline{\underline{V_{skut}^{AK} = 55,14 [m^3]}} \quad (7 - 17)$$

Objem skutečného akumulátoru zaokrouhleně:

$$\underline{\underline{V_{skut}^{AK} = 56 \text{ m}^3}}$$

7.3.2 Volba hlavního hnědouhelného kotle

Stanovení výkonu HU kotle:

V tabulce č. 31 nalezneme hodnotu výkonu $P_{top,12}^{opt}$, odpovídá maximálnímu výkonu. Musíme najít v nabídce HU kotel, který bude mít odpovídající výkon nebo se nejvíce blížit.

$$P_{HU,kotel}^{var.B} = \max P_{top,i}^{opt} = P_{top,12}^{opt} \quad (7 - 18)$$
$$\underline{\underline{P_{HU,kotel}^{var.B} = 329[kW]}}$$

Zvolený typ HU kotle:

Z nabízených kotlů se nejvíce blíží svým výkonem kotel nabízený firmou Ekoefekt. Tento kotel, typ CARBOROBOT PV 300, má jmenovitý výkon 290 kW, maximální výkon dodavatel neuvádí, ale lze přepokládat, že se bude pohybovat kolem 320 kW (plus 10 % jmenovitého výkonu). Kotel je určen pro spalování hnědého uhlí s označením Ořech II.

- **Výrobce:** Carborobot Co. LTD
1211 Budapest Varrógépgyár u. 4.
Maďarsko
- **Dodavatel v ČR:** Ekoefekt, a. s.
Semečská 187
Třebívlice
411 15

- **Popis kotle CARBOROBOT PV 300**

Revoluční součástí kotlů je poměrně malá plocha otáčivého roštu, která se podstatně liší od předchozích typů kotlů. Uhlí se při hoření automaticky postupně posouvá z násypky na rošt, na kterém hoří pouze nejnutnější množství uhlí k momentální potřebě tepla v objektu. Rošt je speciální segmentové válcové konstrukce a probíhá na něm přesně regulovaný spalovací proces. Otáčivý pohyb roštu zajišťuje přísun uhlí ze zásobníku a odvod škváry do popelníkového prostoru. U správně nastaveného krokování roštu musí být popel odcházející do popelníku do šeda vyhořelý. Spalování probíhá vždy za dostatečného a navíc řízeného přívodu vzduchu, který zaručí dokonalé spalování všech hořlavých látek obsažených v uhlí. U těchto moderních kotlů řídí spalování automatická regulace kotle a topný výkon je utlumován postupně. Tím se zajistí dokonalé spalování. V případě, že v topné sezoně není nutno objekt vytápět v průběhu dne, je oheň v topeništi utlumen a doutná pouze několik uhlíků. Popel tvoří cca 1/12 z množství dodaného paliva a automaticky padá do popelníku. Uhlí v kotli nevyhasne ani v případě 24hodinového výpadku elektrické energie a bez zapálení a zásahu obsluhy se automaticky znovu spustí.

Zauhlování je prováděno podle výkonu kotle, a to buď ručně v rodinných domcích nebo mechanicky ve výtopnách. Účinnost kotlů přesahuje 80 % a svědčí o velmi dobré konstrukci kotlů a kvalitním spalovacím procesu, který v kotli probíhá. [12]

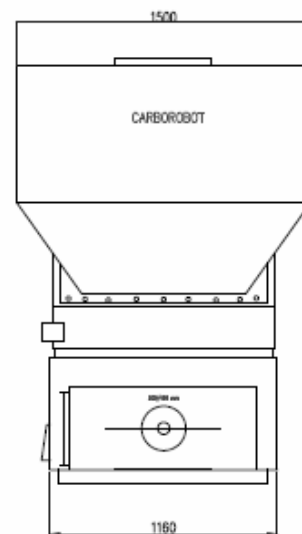
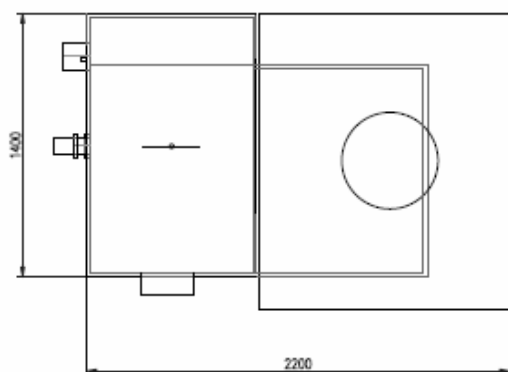
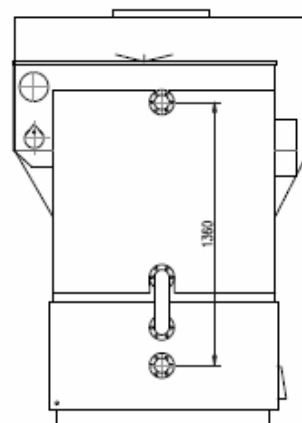
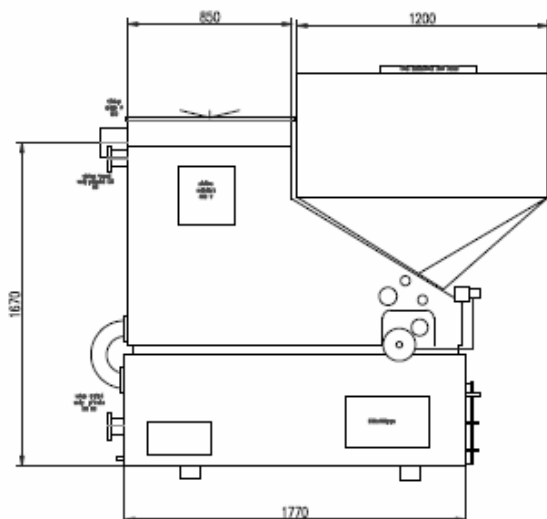
- Technické parametry kotle CARBOROBOT PV 300:

tab. 35, 36

Parametry a vlastnosti kotle PV 300

parametr	jednotka	hodnota
jmenovitý výkon	[kW]	290
optimální regulovaný výkon	[kW]	70-290
spotřeba uhlí	[kg/hod]	16-73
účinnost v závislosti na palivu	[%]	80
obsah násypky	[kg]	960
max. prac. přetlak topné vody	[kPa]	200
max. teplota topné vody	[°C]	95
hluk ventilátoru	[dB]	75
hmotnost	[kg]	2700
teplota spalin	[°C]	150-230
el. příkon/napětí	[W/V]	1130/400
vodní objem	[l]	800

rozměry	[mm]
výška kotle s násypkou	2100
hloubka kotle s násypkou	2274
šířka kotle s násypkou	1395
vstupní a výstupní voda	80 DN



obr.30

Technické schéma kotle CARBOROBOT PV 300 [12]

7.3.3 Volba špičkového kotle na zemní plyn

Špičkový kotel pro variantu B bude plnit svoje funkce stejným způsobem jako ve variantě A. Bude dodávat teplo během dnů, kdy klesnou denní průměrné teploty natolik, že pro pokrytí denní potřeby tepla nebude dostávat výkon hlavního kotle. Tedy dny, kdy potřebný výkon bude vyšší než měsíční průměr, podle kterého je zvolen výkon hlavního kotle.

Stanovení výkonu kotle na ZP:

Výkon kotle je stanoven jako rozdíl maximálního tepelného výkonu, který je navržen pro nejnižší dlouhodobou teplotu $t_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, a součtu výkonu hlavního hnědouhelného kotle a maximálního vybíjecího výkonu tepelného akumulátoru. Hodnoty těchto výkonů jsou dosahovány v prosinci (tabulka č. 31):

$$P_{ZP,kotel}^{var.B} = P_{max} - (P_{top,12}^{opt} - P_{AKUM,12}^{max.vyb}) = 755 - (329 + 130) [kW]$$

$$P_{ZP,kotel}^{var.B} = 296 [kW]$$
(7 – 19)

Určený výkon je prakticky totožný z výkonem kotle na ZP pro variantu A, proto volím stejný typ kotel Buderus Logano GE 515. Popis a parametry kotle jsou popsány v kapitole 7.2.2.

7.3.4 Výpočet spotřeby paliva

Výpočet je rozdělen na spotřebu hnědého uhlí a zemního plynu za jeden rok.

Určení spotřeby hnědého uhlí:

Při výpočtu spotřeby hnědého uhlí se vycházelo z hodnot průměrné měsíční potřeby tepla během topného období Q_i^{TO} , které jsou uvedeny v tab. 17, dále z tabulky č. 18, kde je uvedena hodnota výpočtové výhřevnosti a je brána v potaz také účinnost kotle, kterou uvádí výrobce. Obě varianty musí pokrýt stejnou potřebu tepla.

- Roční potřeba tepla během topného období:**

Je to součet měsíčních potřeb tepla Q_i^{TO} .

$$Q_{rok}^{TO} = \sum Q_i^{TO} = \sum Q_{i=1-12}^{TO}$$

$$Q_{rok}^{TO} = 5449335 [MJ / rok] \rightarrow$$

$$Q_{rok}^{TO} = 5449,34 [GJ / rok]$$
(7 – 20)

- Výpočtová výhřevnost:**

$$Q_{i,vyp}^r = 17 [GJ / t]$$

- Množství HU za rok:**

Množství hnědého uhlí je podíl roční potřeby tepla a výhřevnosti. Výsledek je navýšen ještě o ztráty (teplo nepředané teplotonosnému médiu), které jsou dané tepelnou účinností kotle. Dá se však předpokládat, že forma provozu kotle je stejná jako v předchozí variantě. Kotle mají podobnou konstrukci a hlavním prvkem obou kotlů je válcový rošt. Podle popisu jsou i stejným způsobem regulovány. Po konzultacích s výrobcem a vedoucím je stanovena průměrná účinnost kotle na 79 %. Při použití akumulační nádrže nekolísá přes den výkon a proto je průměrná účinnost zvolena vyšší než ve variantě A.

$$M_{u,B} = \frac{Q_{rok}^{TO}}{Q_{i,výp}^r} \cdot [1 + (1 - \eta_B)]$$

$$M_{u,B} = \frac{5449,34}{17} \cdot 1,21 \quad (7 - 21)$$

$$\underline{\underline{M_{u,B} = 387,9[t / rok]}}$$

Určení spotřeby zemního plynu:

Spotřeba plynu je stejná jako pro variantu A. Je použit shodný kotel a musí být pokryta stejná potřeba tepla jako v prvním řešení modernizace kotelny. Postup výpočtu je popsán v kapitole 7.2.3.

8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se zabývá jednoduchou ekonomickou analýzou dvou navržených variant modernizace kotelny. Jedná se o základní porovnání investice z pohledu projektanta, nezabývá se způsobem financování. Výsledkem výpočtu je doba návratnosti s časovou hodnotou peněz. Jako výnosy jsou uvažovány částky ušetřené za palivo a obsluhu v porovnání se současným stavem.

Ceny instalovaných zařízení jsou pouze orientační, stanoveny po konzultacích s výrobcí. Pokud se jedná o rekonstrukci celé kotelny, tak je potřeba podle výrobců do celkových investičních nákladů připočítat cca 50 – 70 % z pořizovací ceny kotle. Toto navýšení přibližně pokryje ceny za stavební úpravy i topenářské úpravy (instalace nových rozvodů v kotelně, izolace, armatury). Přesné ceny pro předběžný návrh nelze přesně určit, protože konečné částky se odvíjí od velikosti stavebních úprav, technických úprav pro připojení kotle, druhu použité regulace atd.

Do ekonomického zhodnocení není zahrnuta cena za nákup a zhotovení nových teplovodních rozvodů. S touto částkou investor počítá a varianta provedení rekonstrukce výtopny na ní nebude mít větší vliv.

Veškeré uváděné ceny jsou včetně DPH.

8.1 Varianta A

Investiční náklady:

- | | |
|---|----------------------------|
| • Kotel VARIMATIK VM 500: | 720 000 Kč |
| • Kotel LOGANO GE 515 – 295 kW: | 300 000 Kč |
| • Stavební a topenářské úpravy v kotelně: | 70 % pořizovací ceny kotlů |

$$N_i = (720000 + 300000) \cdot 1,7$$
$$\underline{\underline{N_i = 1734000[Kč]}} \quad (8 - 1)$$

Vstupní parametry:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Investiční náklady: | $N_i = 1\,734\,000 \text{ Kč}$ |
| • Personální náklady: | $N_{\text{zam}} = 370\,000 \text{ Kč/rok}$ |
| • Ostatní provozní náklady (údržba): | $N_{\text{ost}} = 20\,000 \text{ Kč/rok}$ |

- Cena paliva: HU ořech II: $c_{pal,HU} = 2150 \text{ Kč/t}$
Zemní plyn: $c_{pal,ZP} = 1,32 \text{ Kč/kWh}$
 $c_{pal,ZP} = 13,9 \text{ Kč/m}^3$
- Spotřeba paliva: HU: $M_{U,A} = 397,5 \text{ t/rok}$
Zemní plyn: $M_{ZP} = 5467,1 \text{ m}^3/\text{rok}$
- Množství vyrobeného tepla: HU: $Q_{rok}^{TO} = 5449,34 \text{ GJ/rok}$
Zemní plyn: $Q_{rok}^{TO,ZP} = 176,4 \text{ GJ/rok}$

Výnosy z úsporných opatření jsou dány množstvím ušetřeného paliva a faktem, že pro obsluhu automatizovaných kotlů postačí jeden pracovník obsluhy místo stávajících čtyřech. V roce 2009 se protopilo zhruba 550 tun hnědého uhlí. Výnosy naopak sníží spotřeba zemního plynu. Pro orientační přepočet z kWh na m^3 platí, že v ČR lze získat dokonalým spálením 1 m^3 zemního plynu přibližně 10,5 kWh energie (oficiální údaje převzaté z internetových stránek RWE). Průměrný měsíční plat obsluhy kotelny činil 22 800 Kč (včetně přesčasů a příplatků), plus povinné odvody na zdravotní a sociální pojištění.

$$V = [(550 - M_{U,A}) \cdot c_{pal,HU}] + [22800 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,34] - [M_{ZP} \cdot c_{pal,ZP}]$$

$$V = [(550 - 397,5) \cdot 2150] + [22800 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,34] - [5467,1 \cdot 13,9] \quad (8-2)$$

$$V = 1351755 [\text{Kč} / \text{rok}]$$

- Výnosy opatření za rok: $V = 1351755 \text{ Kč/rok}$
- Diskontní sazba: $d = 0,25 \%$

Náklady na palivo:

Hnědé uhlí:

$$N_{pal}^{HU} = M_{U,A} \cdot c_{pal,HU}$$

$$N_{pal}^{HU} = 397,5 \cdot 2150 \quad (8-3)$$

$$N_{pal}^{HU} = 854625 [\text{Kč} / \text{rok}]$$

Zemní plyn:

$$N_{pal}^{ZP} = M_{ZP} \cdot c_{pal,ZP}$$

$$N_{pal}^{ZP} = 5467,1 \cdot 13,9 \quad (8-4)$$

$$N_{pal}^{ZP} = 75993 [\text{Kč} / \text{rok}]$$

$$N_{pal} = N_{pal}^{HU} + N_{pal}^{ZP} = 854625 + 75993 \quad (8-5)$$

$$N_{pal} = 930618 [\text{Kč} / \text{rok}]$$

Provozní náklady:

$$N_p = N_{pal} + N_{ost} + N_{zam} = 930618 + 20000 + 370000 \quad (8-6)$$

$$N_p = 1120618 [\text{Kč} / \text{rok}]$$

Analýza z pohledu projektanta:

Výpočet je proveden na přibližnou životnost hlavního kotle, tj. 20 let.

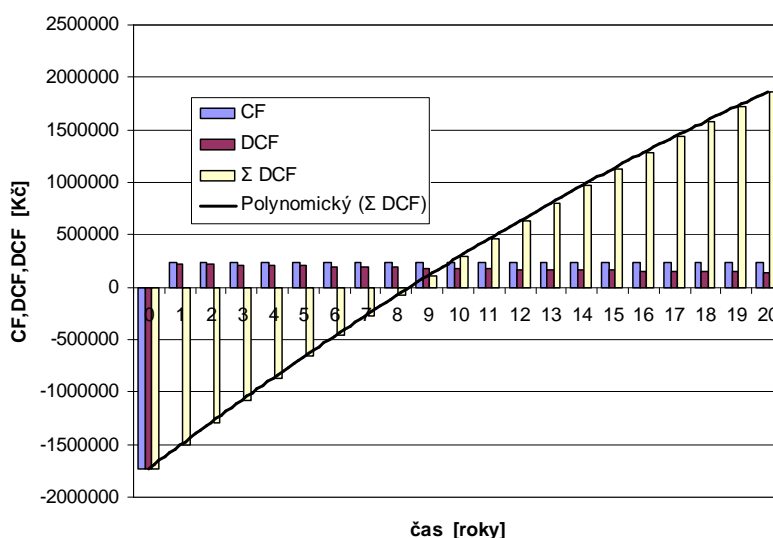
$$CF = V - N_p$$

$$DCF = CF \cdot (1 + d)^{-rok} \quad (8 - 7)$$

$$\sum DCF = \sum DCF_{rok-1} + DCF_{rok}$$

tab. 37 Tok peněz, varianta A

rok	investiční náklady	cash flow	diskontovaný cash flow	kumulovaný DCF
	N_i	CF	DCF	ΣDCF
0	1734000	-1734000	-1734000	-1734000
1		231057	225421	-1508579
2		231057	219923	-1288655
3		231057	214559	-1074096
4		231057	209326	-864770
5		231057	204221	-660549
6		231057	199240	-461309
7		231057	194380	-266929
8		231057	189639	-77290
9		231057	185014	107724
10		231057	180501	288226
11		231057	176099	464325
12		231057	171804	636128
13		231057	167613	803742
14		231057	163525	967267
15		231057	159537	1126804
16		231057	155646	1282450
17		231057	151850	1434299
18		231057	148146	1582445
19		231057	144533	1726978
20		231057	141007	1867985



obr.31 Kumulovaný diskontovaný cash flow

Prostá návratnost:

$$T_s = \frac{N_i}{CF} = \frac{1734000}{231057} \quad (8-8)$$

$$\underline{\underline{T_s = 7,5\text{let}}}$$

Doba návratnosti s časovou hodnotou peněz:

$$T_{SH} = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_s \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 7,5 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} \quad (8-9)$$

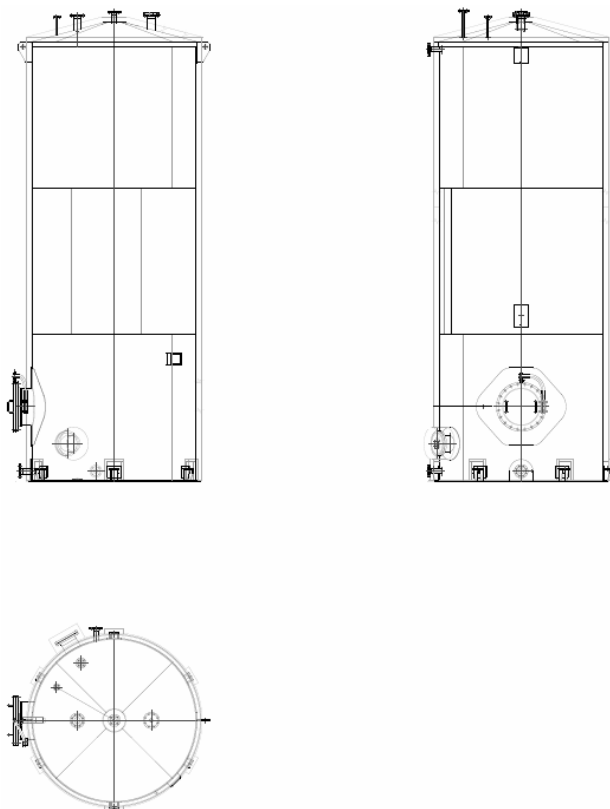
$$\underline{\underline{T_{SH} = 8,4\text{let}}}$$

8.2 Varianta B

Investiční náklady:

- Kotel CARBOROBOT PV 300: 612000Kč
- Kotel LOGANO GE 515 – 295 kW: 300 000 Kč

Cena akumulátoru byla poptávána u firmy PolyComp, a.s. Společnost poskytla zpracovanou cenovou kalkulaci teplovodního beztlakého akumulátoru o objemu 100 m³. Podle této kalkulace byla stanovena přibližná cena akumulátoru o objemu 56 m³. Cena zahrnuje dodávku akumulátoru, armatury nádrže, montáž, izolace a oplechování, antikorozi ochranu a stavební úpravy.



obr.32

Provedení beztlakého akumulátoru [Technická dokumentace PolyComp, a.s.]

- Akumulační nádrž 56 m³ 1 200 000 Kč
- Stavební a topenářské úpravy v kotelně: 70 % pořizovací ceny kotlů

$$N_i = [(612000 + 300000) \cdot 1,7] + 1200000$$

$$N_i = 2750400 [Kč] \quad (8 - 10)$$

Vstupní parametry:

- Investiční náklady: $N_i = 2\,750\,400$ Kč
- Personální náklady: $N_{zam} = 370\,000$ Kč/rok
- Ostatní provozní náklady (údržba): $N_{ost} = 25\,000$ Kč/rok
- Cena paliva:
 - HU ořech II: $c_{pal,HU} = 2150$ Kč/t
 - Zemní plyn: $c_{pal,ZP} = 1,32$ Kč/kWh
 $c_{pal,ZP} = 13,9$ Kč/m³
- Spotřeba paliva:
 - HU: $M_{U,A} = 387,9$ t/rok
 - Zemní plyn: $M_{ZP} = 5\,467,1$ m³/rok
- Množství vyrobeného tepla:
 - HU: $Q_{rok}^{TO} = 5\,449,34$ GJ/rok
 - Zemní plyn: $Q_{rok}^{TO,ZP} = 176,4$ GJ/rok

Výnosy z úsporných opatření jsou dány množstvím ušetřeného paliva a faktem, že pro obsluhu automatizovaných kotlů postačí jeden pracovník obsluhy místo stávajících čtyřech. V roce 2009 se protopilo zhruba 550 tun hnědého uhlí. Výnosy naopak sníží spotřeba zemního plynu. Pro orientační přepočítání z kWh na m³ platí, že v ČR lze získat dokonalým spálením 1 m³ zemního plynu přibližně 10,5 kWh energie. Průměrný měsíční plat obsluhy kotleny činil 22 800 Kč (včetně přesčasů a příplatků), plus povinné odvody na zdravotní a sociální pojištění.

$$V = [(550 - M_{U,A}) \cdot c_{pal,HU}] + [22800 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,34] - [M_{ZP} \cdot c_{pal,ZP}]$$

$$V = [(550 - 387,9) \cdot 2150] + [22800 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,34] - [5467,1 \cdot 13,9] \quad (8 - 11)$$

$$V = 1372394 [Kč / rok]$$

- Výnosy opatření za rok: $V = 1372394$ Kč/rok
- Diskontní sazba: $d = 0,25$ %

Náklady na palivo:

Hnědé uhlí:

$$N_{pal}^{HU} = M_{U,A} \cdot c_{pal,HU}$$

$$N_{pal}^{HU} = 387,9 \cdot 2150 \quad (8 - 12)$$

$$N_{pal}^{HU} = 833985 [Kč / rok]$$

Zemní plyn:

$$N_{pal}^{ZP} = M_{ZP} \cdot c_{pal,ZP}$$

$$N_{pal}^{ZP} = 5467,1 \cdot 13,9 \quad (8 - 13)$$

$$N_{pal}^{ZP} = 75993 [Kč / rok]$$

$$N_{pal} = N_{pal}^{HU} + N_{pal}^{ZP} = 833985 + 75993$$

$$N_{pal} = 909978 [Kč / rok]$$
(8 – 14)

Provozní náklady:

$$N_p = N_{pal} + N_{ost} + N_{zam} = 909978 + 25000 + 370000$$

$$N_p = 1104978 [Kč / rok]$$
(8 – 15)

Analýza z pohledu projektanta:

Výpočet je proveden na přibližnou životnost hlavního kotle, tj. 20 let.

$$CF = V - N_p$$

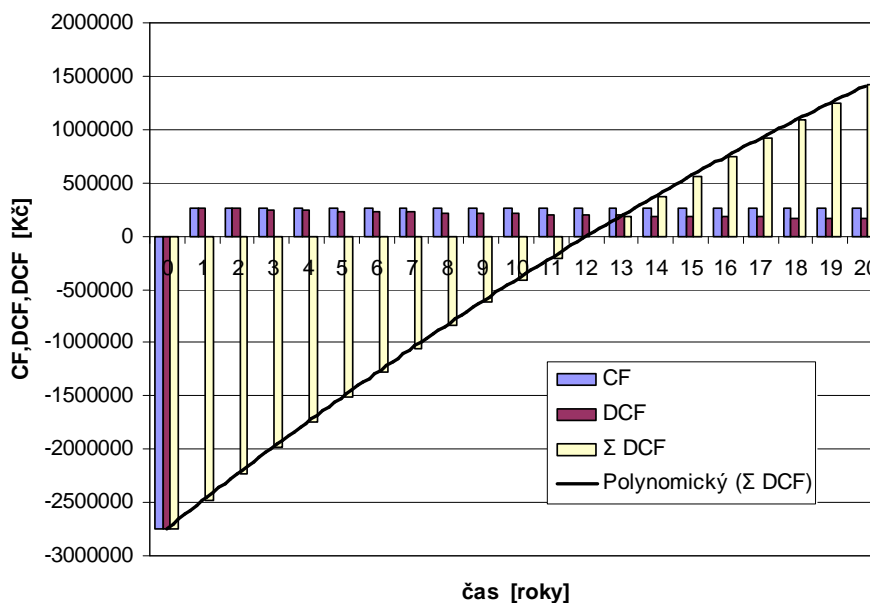
$$DCF = CF \cdot (1 + d)^{-rok}$$

$$\sum DCF = \sum DCF_{rok-1} + DCF_{rok}$$
(8 – 16)

tab. 38

Tok peněz, varianta B

rok	investiční náklady	cash flow	diskontovaný cash flow	kumulovaný DCF
	N_i	CF	DCF	Σ DCF
0	2750400	-2750400	-2750400	-2750400
1		267416	260894	-2489506
2		267416	254530	-2234976
3		267416	248322	-1986654
4		267416	242266	-1744388
5		267416	236357	-1508031
6		267416	230592	-1277439
7		267416	224968	-1052471
8		267416	219481	-832991
9		267416	214128	-618863
10		267416	208905	-409958
11		267416	203810	-206148
12		267416	198839	-7310
13		267416	193989	186679
14		267416	189258	375937
15		267416	184642	560579
16		267416	180138	740717
17		267416	175744	916461
18		267416	171458	1087919
19		267416	167276	1255195
20		267416	163196	1418391



obr.33 Kumulovaný diskontovaný cash flow

Prostá návratnost:

$$T_s = \frac{N_i}{CF} = \frac{2750400}{267416} \quad (8 - 17)$$

$$T_s = 10,29let$$

Doba návratnosti s časovou hodnotou peněz:

$$T_{SH} = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_s \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 10,29 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} \quad (8 - 12)$$

$$T_{SH} = 12,04let$$

9. POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

tab. 38 Porovnání dvou variant rekonstrukce

	investice	palivové náklady	doba návratnosti investice
	N_i	N_{pal}	T_{SH}
	[Kč]	[Kč/rok]	[roky]
varianta A	1 734 000	930 618	8,4
varianta B	2 750 400	909 978	12,0

Z uvedených výsledků se jeví jako ekonomicky výhodnější, podle investičních nákladů i doby návratnosti, zvolit pro provedení rekonstrukce možnost A. Avšak varianta B má také jisté výhody. Mezi klady druhé možnosti patří úspora palivových nákladů a také fakt, že při volbě varianty B bude kotel po dobu provozu pracovat, optimálnějším způsobem, blízko hodnot jmenovitého výkonu po celé topné období. To zajistí instalace akumulární nádrže, která vyrovná kolísání potřeby tepla během dne. Použití akumulátoru bude proto mít příznivý vliv na životnost hlavního kotle. V případě varianty B nebude těleso kotle namáháno tepelnými šoky vlivem kolísání dodávaného výkonu do sítě podle denního diagramu zatížení.

Jinými slovy při použití akumulátoru klesají teplotní pnutí, které vznikají při nestacionárních režimech. Eliminace těchto přechodových režimů také vede ke snížení emise škodlivin.

Výsledkem této práce není upřednostnění jedné z možností rekonstrukce, protože každá z variant má své výhody. Z pohledu projektanta bych však doporučil variantu B, optimalizace provozu. Konečná volba varianty je závislá především na investitorovi a jeho finančních možnostech.

10. ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo zpracování předběžného technicko-ekonomického návrhu modernizace systému centralizovaného zásobování teplem průmyslové zóny firmy ZEZ Silko, s.r.o.

Projekt je navržen v souladu s celkovým záměrem společnosti, který má vést ke snížení energetické náročnosti výroby. Hlavním cílem toho záměru je především zateplení valné většiny objektů využívaných při výrobě, pro administrativu a pro zajištění stravování a hygienických potřeb zaměstnanců. Možnosti návrhů modernizace centrálního zdroje tepla jsou provedeny na nový energetický stav objektů - po zateplení.

V práci jsou popsány druhy obvykle používaných zdrojů tepla při vytápění menších průmyslových areálů, které získané teplo spotřebovávají pouze pro vytápění a ohřev teplé užitkové, nikoli k technologickým účelům. Dále jsou popsány možnosti rozvodů tepla a parametry ovlivňující volbu zdroje tepla. V řešební části je také uveden popis stávajícího stavu zásobování teplem.

V projektové části jsou nejprve stanoveny potřebné topné výkony pro vytápění a ohřev TUV a tabulka četností denních teplot, která byla sestavena z dat poskytnutých Českým hydrometeorologickým úřadem. Z těchto podkladů byl stanoven diagram ročního trvání potřeby tepla. Poté byl z dostupné literatury stanoven diagram denního průběhu potřeby výkonu. Z těchto dat byla vypočítána roční potřeba tepla s rozlišením topného a letního období.

Na základě roční potřeby tepla a výkonů, které mají zajistit požadovanou dodávku tepla, byly navrženy dvě varianty modernizace centrální výtopny. Obě varianty zvažují použití hlavního zdroje spalujícího hnědé uhlí a špičkového zdroje spalujícího zemní plyn. V obou případech jsou navrženy typy a dodavatelé spalovacích zařízení, jsou vypočítány roční spotřeby paliv. Druhá varianta navrhuje použití akumulační nádrže, to by mělo umožnit instalaci hlavního kotle o nižším výkonu a optimalizovat průběh denní potřeby výkonu. V této variantě je dopočítána tepelná kapacita akumulátoru a navržen potřebný objem nádrže.

Poté je provedeno porovnání návrhů koncepčních řešení z ekonomického pohledu. Předběžně byly stanoveny investiční a provozní náklady. Pomocí analýzy toku peněz byly vypočítány doby návratnosti investice, nezohledňující způsob financování investičního záměru. Není jednoznačně stanovena výhodnější varianta, protože každá má určité výhody a nevýhody. Varianta A je výhodná z ekonomického pohledu, má nižší investiční náklady i kratší dobu splatnosti. Oproti tomu varianta B je z ekonomického pohledu méně vhodná, ale z provozního pohledu je lepší. Konečnou volbu je v rukou zadavatele. Já bych doporučil variantu B.

Přesnost tohoto projektu je závislá na podkladech, které byly dostupné. Zadavatel neměl k dispozici žádné odečty ani průběhy potřeby tepla, nebo denní či hodinové spotřeby paliva, ze kterých by bylo možné přesněji stanovit denní a roční diagram potřeby dodávek tepla. K dispozici byly pouze výpisy roční spotřeby paliva, které byly podloženy pouze

fakturami dodavatele a ne vlastním měřením. Společnost nevede žádnou vlastní evidenci dat v oblasti spotřeb energií.

Je také nutné podotknout, že údaje poskytnuté ČHMÚ jsou pouze za tři roky. Aby byl návrh objektivnější bylo by potřeba zpracovat data za delší časový úsek. ČHMÚ je však příspěvková organizace a poskytované informace jsou zpoplatněné, podle platných tabulek, i pro studijní účely, z tohoto důvodu byly zpracovány data za tři roky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

- [1] OCHRANA, Ladislav . *Kotle a výměníky tepla*. první vydání. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 85 s. ISBN 80-214-2847-3.
- [2] KADRNOŽKA, Jaroslav; OCHRANA, Ladislav. *Teplárenství*. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2001. 178 s. ISBN 80-7204-222-X.
- [3] POLESNÝ, Bohumil. *Teplárenství a potrubní sítě*. Brno : Ediční středisko VUT Brno, 1989. 226 s. ISBN 80-214-0057-9
- [4] HRDLÍČKA, František; DLOUHÝ, Tomáš; KOLOVRATNÍK, Michal . *Průmyslová energetika*. vydání druhé přepracované. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. 138 s. ISBN 80-01-02883-6.
- [5] LISÝ, Martin. *Optimalizace zdroje K13 v systému CZT města Třebíče*. Brno, 2002. 145 s. Diplomová práce. VUT Brno, FSI, EÚ.
- [6] SCHMIDT, Vladimír; DŽBÁNEK, Jaromír. *Zpráva o energetickém auditu*. Litomyšl : [s.n.], 2010. 228 s.
- [7] Podklady z předmětu Projektování a ekonomika

Internetové zdroje:

- [8] KARAFIÁT, Josef. *Teplárenství* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2001 [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://k315.feld.cvut.cz/download/tep/teplarenstvi.pdf>>.
 - [9] KRBEK, Jaroslav; POLESNÝ, Bohumil . *Kogenerační jednotky - Zřízení a provoz* [online]. 1. vydání. Praha : GAS s.r.o., Praha, 2007 [cit. 2011-04-24]. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf>. ISBN 978-80-7328-151-9.
 - [10] ŠRÁMEK, Václav, et al. *OPTIMÁLNÍ VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PŘI KONCEPČNÍM ŘEŠENÍ REGIONŮ* [online]. Praha : [s.n.], 2005 [cit. 2011-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5075.pdf>>.
 - [11] *Varimatik.cz* [online]. c2010 [cit. 2011-05-24]. VARIMATIK | Prodej Kotlů. Dostupné z WWW: <<http://www.varimatik.cz/>>.
-

- [12] *Kotle.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-24]. Kotle.cz - Výrobce automatických kotlů na uhlí a biomasu. Dostupné z WWW: <<http://www.kotle.cz/index.asp>>.
- [13] *Buderus.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-24]. Produkty - Kotle: Buderus – kondenzační kotle, tepelná čerpadla a solární panely. Dostupné z WWW: <<http://www.buderus.cz/produkty/kotle/>>.
- [14] *Loos.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-24]. KOTLE LOOS, spol. s r.o. - Produkty. Dostupné z WWW: <<http://www.loos.cz/produkty/>>.
- [15] *Dedietrich.cz* [online]. c2008-2011 [cit. 2011-04-24]. De Dietrich : Kotle. Dostupné z WWW: <<http://www.dedietrich.cz/cz/kotle>>.
- [16] *Kotle-verner.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-24]. Průmyslové kotle » Kotle Verner. Dostupné z WWW: <<http://www.kotle-verner.cz/produkty/prumyslove-kotle>>.
- [17] *Tts.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-24]. Ekovariant. Dostupné z WWW: <<http://www.tts.cz/cz/boilers/ekovariant.html>>.
- [18] *Kogenerace.tedom.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-24]. Kogenerační jednotky TEDOM. Dostupné z WWW: <<http://kogenerace.tedom.cz/kj-tedom.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

ČHMÚ	-	Český hydrometeorologický ústav
HU	-	hnědé uhlí
KJ	-	kogenerační jednotka
LO	-	letní období
ORC	-	organický Rankinův cyklus
OZE	-	obnovitelné zdroje energie
PS	-	předávací stanice
SCZT	-	soustava centrálního zásobování teplem
TO	-	topné období
TUV	-	teplá užitková voda
ZP	-	zemní plyn

CF	[Kč]	cash flow
$c_{pal,HU}$	[Kč/t]	cena hnědého uhlí
$c_{pal,ZP}$	[Kč/t]	cena zemního plynu
d	[-]	diskontní sazba
DCF	[Kč]	diskontovaný cash flow
ΣDCF	[Kč]	kumulovaný diskontovaný cash flow
k_c	[-]	koeficient využití akumulární kapacity
k_{mv}	[-]	součinitel ztráty mezní vrstvou
k_n	[-]	součinitel ztráty míšení teplotní vrstvy v konečné fázi nabíjení
k_v	[-]	součinitel ztráty vlivem konstrukčního řešení vstupu a výstupu

$m_{\text{osoba/den}}$	[kg]	hmotnost vody v ohřívacích TUV
$M_{u,A}$	[t/rok]	množství uhlí, varianta A
$M_{u,B}$	[t/rok]	množství uhlí, varianta B
M_{ZP}	[m ³ /rok]	roční množství zemního plynu
η_A	[-]	průměrná účinnost HU kotle, varianta A
η_B	[-]	průměrná účinnost HU kotle, varianta B
N_i	[Kč]	investiční náklady
N_{ost}	[Kč]	ostatní provozní náklady
N_P	[Kč]	náklady provozní
N_{pal}	[Kč/rok]	palivové náklady
η_P	[-]	účinnost předávacích stanic
η_{ts}	[-]	účinnost tepelných sítí
n_{zam}	[-]	počet zaměstnanců
N_{zam}	[Kč]	personální náklady
η_{ZP}	[-]	průměrná účinnost kotle spalujícího zemní plyn
$P_{\text{max.nab}}^{\text{AKUM},i}$	[kW]	maximální nabíjecí výkon akumulátoru
$P_{\text{max.vyb}}^{\text{AKUM},i}$	[kW]	maximální vybíjecí výkon akumulátoru
$P_{\text{Ak}_i^h}$	[kW]	nabíjecí (vybíjecí) výkon podle hodiny a měsíce
pd_i^{LO}	[dny]	počet dnů letního období v měsíci
pd_i^{TO}	[dny]	počet topných dnů v měsíci
p_{rok}^i	[dny]	počet dní, kdy se venkovní teploty pohybují mezi -15 a -1 °C
P_i^h	[kW]	výkon podle měsíce a hodiny
P_i^{1-24}	[kW]	průměrný denní výkon podle měsíce
$P_{i,\text{prum}}$	[kW]	střední denní výkony podle venkovní teploty dodávané ZP
$P_{i,\text{max,top}}$	[kW]	maximální výkon pro vytápění podle měsíců
$P_{i,\text{max,TUV}}$	[kW]	maximální výkony pro ohřev TUV podle měsíců
$P_{i,\text{prum,celk}}$	[kW]	celkový měsíční průměrný výkon
$P_{i,\text{prum,top}}$	[kW]	průměrný výkon pro vytápění podle měsíců
$P_{i,\text{prum,TUV}}$	[kW]	průměrný výkon pro ohřev TUV podle měsíců
$P_{\text{HU,kotel}}^{\text{var.A}}$	[kW]	výkon HU kotle, varianta A
$P_{\text{HU,kotel}}^{\text{var.B}}$	[kW]	výkon HU kotle, varianta B
P_h	[kW]	výkon hodinový
P_h/P_{max}	[kW]	poměrný topný výkon
$P_{\text{max,top}}$	[kW]	maximální výkon pro vytápění
P_{max}^i	[kW]	maximální topný výkon podle teploty
P_{max}	[kW]	tepelný výkon na prahu zdroje
P_{top}	[kW]	celkový výkon pro vytápění
$P_{\text{top,i}}^{\text{opt}}$	[kW]	optimální topný výkon pro daný měsíc při použití akumulátoru
$P_{\text{TUV,LO}}$	[kW]	potřebný topný výkon pro ohřev TUV během LO
$P_{\text{TUV,TO}}$	[kW]	potřebný topný výkon pro ohřev TUV během TO
$P_{\text{ohř}}$	[kW]	výkon pro ohřev TUV
$P_{ZP,kotel}^{\text{var.A}}$	[kW]	výkon kotle na ZP, varianta A
$P_{ZP,kotel}^{\text{var.B}}$	[kW]	výkon kotle na ZP, varianta B
P_{ZP}^i	[kW]	výkon zajištěný kotlem na ZP
$P_{ZP,i}^h$	[kW]	hodinový výkon dodávaný kotlem na ZP podle teploty
q_{AK}	[MJ]	maximální tepelná kapacita akumulátoru
$Q_{\text{Ak}_i^h}$	[MJ]	hodinové množství tepla při vybíjení a nabíjení akumulátoru
Q_i	[MJ]	celková měsíční potřeba tepla
O_i^{LO}	[MJ]	měsíční potřeba tepla během letního období

Q_i^{TO}	[MJ]	měsíční potřeba tepla během TO
Q_i^h	[MJ]	hodinová potřeba tepla podle měsíce
$Q_{i,prum}$	[MJ]	denní potřeba tepla krytá špičkovým zdrojem
$Q_{i,prum}^{celk}$	[kW]	celková denní potřeba tepla ze ZP podle teploty a počtu dnů
$Q_{i,vyp}^r$	[GJ/t]	výpočtová výhřevnost hnědého uhlí
$Q_{i,vyp}^{r,ZP}$	[MJ/m ³]	výpočtová výhřevnost zemního plynu
$Q_{osoba/den}$	[MJ]	měrná potřeba tepla pro přípravu teplé užitkové vody
Q_{rok}	[GJ]	roční potřeba tepla
Q_{rok}^{TO}	[GJ/rok]	roční potřeba tepla během TO
$Q_{rok}^{TO,ZP}$	[MJ/rok]	roční potřeba tepla během TO, krytá špičkovým kotlem
$Q_{top,i}^{stř}$	[MJ]	množství tepla dodané při optimálním topném výkonu
$Q_{TUV,l}$	[MJ]	teplo pro ohřev TUV během letního období
$Q_{TUV,TO}$	[MJ]	teplo pro ohřev TUV během topného období
t_e	[°C]	nejnižší dlouhodobá teplota
t_{em}	[°C]	střední denní venkovní teplota pro začátek a konec TO
t_{es}	[°C]	střední venkovní teplota v topném období
$t_{sv,l}$	[°C]	teplota studené vody během letního období
$t_{sv,TO}$	[°C]	teplota studené vody během topného období
T_i	[°C]	průměrná denní teplota podle měsíců
$T_{max,prům}$	[°C]	maximální denní průměrná teplota v roce
$T_{min,prům}$	[°C]	minimální denní průměrná teplota v roce
T_s	[rok]	prostá doba návratnosti
T_{SH}	[rok]	doba návratnosti s časovou hodnotou peněz
V	[Kč/rok]	výnosy opatření za rok
V^{AK}	[m ³]	ideální objem akumulátoru
$V_{celk,instal}$	[m ³]	celkový objem akumulčních ohříváků TUV
$V_{celk,den}$	[m ³]	denní potřeba TUV pro celý areál
V_{skut}^{AK}	[m ³]	skutečný objem akumulátoru
$V_{TUV,osoba/den}$	[l]	objem vody na osobu a den
z	[-]	ztráty
ξ_{ok}	[-]	součinitel tepelné ztráty do okolí

SEZNAM PŘÍLOH:

č.1 Diagram ročního trvání potřeby tepla